

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



PROYECTO EJECUTIVO DE RELLENO
SANITARIO

Por

JULIAN DE LA GARZA CASTRO

Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRIA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD
EN INGENIERIA AMBIENTAL

CD. UNIVERSITARIA

MAYO DE 2007

T
TD771
G3
2007
c.1



1090016933

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



PROYECTO EJECUTIVO DE RELLENO SANITARIO

Por

JULIAN DE LA GARZA CASTRO

Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRIA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD
EN INGENIERIA AMBIENTAL

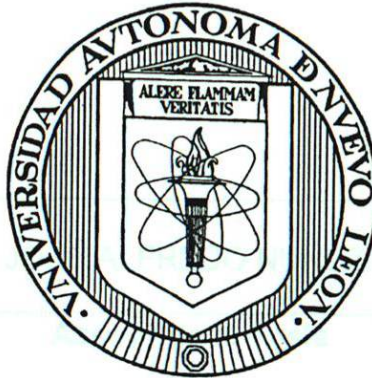
CD. UNIVERSITARIA

MAYO DE 2007

16/06/07
Biblioteca
Pagado Ing. Gwila
Jaggy

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



T
TD771
G3
2007
c.1

PROYECTO EJECUTIVO DE RELLENO SANITARIO

Por:

JULIÁN DE LA GARZA CASTRO

**Como requisito parcial para obtener el grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN
INGENIERÍA AMBIENTAL**

CD. UNIVERSITARIA

MAYO DEL 2007.

San Nicolás de los Garza, N.L. , 23 de marzo del 2007

Aprobación de la Tesis:

M. en I. JOSÉ ALFREDO NUÑEZ CANTÚ

Asesor de la Tesis



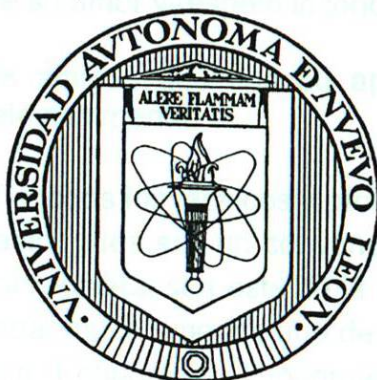
M. en I. JUSTINO CESAR GONZALEZ ALVAREZ

Jefe de la División de Estudios de Postgrado

AGRADECIMIENTOS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



PROYECTO EJECUTIVO DE RELLENO SANITARIO

Por:

JULIÁN DE LA GARZA CASTRO

**Como requisito parcial para obtener el grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN
INGENIERÍA AMBIENTAL**

San Nicolás de los Garza, Nuevo León, mayo del 2007

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a Dios, que me dio la oportunidad de tener unos padres que me brindaron el ejemplo de responsabilidad al trabajo y al estudio.

A mi familia; Ene, Julián, Adrián y Eugenio Juan a quienes debo mi interés de superación al demostrarme su amor y respeto incondicional.

A mis hermanos y a mis amigos que con su apoyo y testimonio me han motivado a superarme intelectualmente.

Mi sincero agradecimiento a todos los técnicos y profesionistas que intervinieron en la realización del proyecto, pues soy un convencido que ningún proyecto lo puede realizar un solo profesionista, sea este de la rama profesional que sea o de la especialidad que posea; mucho menos uno de Ingeniería Ambiental como éste, en cual intervinieron Ecónomos, Topógrafos, Hidráulicos, Geólogos, Geofísicos, especialistas en Derecho Ambiental, en Mecánica de Suelos, en Ingeniería de Transito, Biólogos, Arquitectos, Ingenieros Forestales y por supuesto Ingenieros Ambientales, los cuales me permitieron dirigirlos para conseguir el logro de éste proyecto ejecutivo de relleno sanitario.

Al Arq. Eudelio Garza Mercado, Director General de PRODESA, el reconocimiento de mi familia y el mío propio por su apoyo y autorización por permitirme presentar este trabajo con el fin de aspirar a obtener el Grado de Maestro en Ingeniería Ambiental de mi querida UANL.

Finalmente y rememorando las palabras que alguna vez expresara la M. en C. Julia Carabias L. de que "el desafío del desarrollo sustentable ofrece oportunidades para reanudar la búsqueda de horizontes más acordes con los inéditos problemas de un mundo en transición".

Espero que este modesto trabajo contribuya a esta tarea.

Ing. Julián de la Garza Castro

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN

Capítulo

Página

En el presente trabajo se desarrollo el método decretado en la norma oficial mexicana NOM-083-SEMARNAT/2004, que entró en vigor el 1º. de Enero del 2005; y en el que dirigí el proyecto de ingeniería de un relleno sanitario de residuos sólidos urbanos apegado a las especificaciones establecidas en dicha norma.

Se muestra que, con soluciones específicas de ingeniería sanitaria y/o ambiental, es posible cumplir los propósitos establecidos en los principios del desarrollo sustentable, en armonía con el medio ambiente, contribuyendo al crecimiento económico y sin alterar el equilibrio social, además de cumplir la responsabilidad particular de educar, capacitar y cumplir con mi función como ser humano profesionalista y universitario.

En el capítulo uno exponemos las razones que motivaron la realización del proyecto, sus objetivos, la hipótesis de la cual partimos y la conclusión a la cual llegamos.

En el capítulo dos y tres se presenta una evaluación del sitio, mostrando una tabla donde se menciona las restricciones normativas que limitan la ubicación de estas tipo de instalaciones y el diagnóstico realizado para respetar su cumplimiento.

Finalmente, en los capítulos cuatro y cinco desarrollamos el diseño del relleno sanitario y de sus obras complementarias.

Como resumen a la conclusión que exponemos en el capítulo uno mencionaré que se pudo confirmar la hipótesis original de que el sitio seleccionado es apto para alojar una instalación de disposición final de residuos sólidos.

INDICE DE CONTENIDO

Capitulo	Página
1.- Introducción	1
2.- Selección del Sitio	6
2.1. Ubicación y geografía del sitio.	6
2.2. Evaluación del sitio de acuerdo con la norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMANARAT-2003	8
3.- Características del Medio Físico	11
3.1 Ubicación.	11
3.2 Extensión.	12
3.3 Orografía.	12
3.4 Hidrografía.	13
3.5 Clima.	13
4.- Diseño del relleno sanitario.	14
4.1 Generación y composición de los residuos sólidos.	14
4.2 Generación del lixiviado.	17
4.2.1 El ciclo hidrológico.	17
4.2.2 Precipitación.	18
4.2.3 Infiltración.	18
4.2.4 Percolación.	18
4.2.5 Evapotransportación.	19
4.2.6 Escurrimiento.	19
4.2.7 Cálculo de la producción de lixiviado	20
4.2.8 Método del balance del agua, de Thornthwaite.	20
4.2.9 Análisis de la contaminación	26
4.2.10 Zona no saturada	28
4.2.11 Zona saturada	31
4.2.12 Análisis de la contaminación por carga catiónica.	33

4.3	Método de operación.	36
4.3.1	Método zanja o trinchera.	37
4.3.2	Método de área.	39
4.3.3	Método combinado.	40
4.4	Selección del método de operación.	40
4.5	Diseño del frente de trabajo.	44
4.6	Diseño de la celda diaria.	45
4.7	Necesidades de material de cobertura.	49
4.8	Establecimiento del nivel de desplante.	52
4.9	Construcción de celdas o trincheras.	53
4.10	Preparación del sitio.	58
4.11	Vida útil.	60
4.12	Superficie final del sitio.	62
4.13	Generación de biogás.	65
4.13.1	Componentes del biogás.	69
4.13.2	Método para evaluación de la producción de biogás.	71
5.-	Obras complementarias.	73
5.1	Sistema de impermeabilización	73
5.1.1	Método natural.	74
5.1.2	Método artificial.	74
5.1.3	Especificaciones para la colocación de la geomembrana.	75
5.1.4	Soldadura y/o termofusión de la geomembrana.	76
5.1.5	Pruebas.	77
5.1.6	Aspectos generales para su colocación	78
5.1.7	Pruebas de campo para verificar las condiciones de las uniones de la geomembrana.	78
5.1.8	Pruebas no destructivas en las uniones.	79
5.1.9	Pruebas destructivas en uniones.	80
5.2.	Sistema para el control de lixiviado.	84
5.3.	Sistema para el control del biogás.	86
5.4.	Sistema de monitoreo ambiental.	90
5.4.1	Sistema de monitoreo de lixiviados y agua subterráneas.	92
5.4.2	Monitoreo de lixiviados.	92
5.4.3	Monitoreo de acuíferos.	93
5.4.4	Sistema para el monitoreo del biogás.	95
5.5	Celda de emergencia	100
5.6	Diseño del sistema de drenaje para agua pluvial.	101
5.6.1	Diseño del canal perimetral.	102
5.6.2	Diseño del canal perimetral de la Zona A	102
5.6.3	Diseño del canal perimetral de la Zona B	105
5.6.4	Diseño del canal interior de la Zona B	109

5.7	Los caminos	114
5.7.1	Caminos del exterior.	114
5.7.2	Los caminos interiores.	115
5.8	Área de amortiguamiento.	117

INDICE DE FIGURAS

5.8.1	Cerca perimetral	117
5.9	Obra civil.	119
5.9.1	Caseta de control y vigilancia.	119
5.9.2	Báscula y área de pesaje.	120
5.9.3	Taller y cobertizo.	120
5.9.4	Oficina administrativa.	121
5.9.5	Área de estacionamiento y pasillos	122
5.9.6	Área de baños y vestidores.	122
6.-	Referencias bibliográficas.	124
7.-	Datos personales	127

INDICE DE FIGURAS

Capítulo		Página
Figura 2.1.	Ubicación del sitio	7
Figura 3.1	Ubicación del estado y municipios de N.L.	12
Figura 4.1.	Ciclo hidrológico	20
Figura 4.2.	Proceso del intercambio catiónico de suelos.	33
Figura 4.3.	Topografía actual.	37
Figura 4.4.	Método de trinchera.	38
Figura 4.5.	Método de área.	39
Figura 4.6.	Método combinado.	40
Figura 4.7.	Secuencia de operación.	42
		43
		44
Figura 4.8.	Configuración de la celda diaria.	46
Figura 4.9.	Variaciones de las dimensiones de la celda en metros.	49
Figura 4.10.	Sección de Taludes para una profundidad máxima de 7 mts.	52
Figura 4.11.	Zonas y Celdas que conforman el relleno Sanitario.	54
Figura 4.12.	Método constructivo de llenado de una celda.	55
Figura 4.13.	Llenado de las 4 celdas que conforman una macro celda.	56
Figura 4.14.	Llenado de una macrocelda.	56
Figura 4.15.	Gráfica de comparación de volúmenes.	62
Figura 4.16.	Gráfica representativa de flujo de biogás.	72
Figura 5.1.	Colocación y anclaje de geomembrana.	84
Figura 5.2.	Construcción de un pozo de venteo de biogás.	89
Figura 5.3.	Pozo para monitoreo de biogás.	99
Figura 5.4.	Corte esquemático de los caminos Interiores.	115
Figura 5.5.	Detalle de la puerta de acceso.	119

INDICE DE TABLAS

Capitulo	Página
Tabla 2.1. Diagnóstico de la situación actual del sitio.	9
Tabla 4.1. Precipitaciones (mm.) y temperaturas mensuales.	22
Tabla 4.2. Producción estimada de líquidos.	26
Tabla 4.3. Dimensiones de la celda diaria en metros.	48
Tabla 4.4. Volumen de excavación en m ³	51
Tabla 4.5. Necesidades del material de cobertura en m ³	51
Tabla 4.6. Determinación de la vida útil del relleno sanitario.	61
Tabla 4.7. Proyecciones de generación de biogás.	72

1. INTRODUCCION

Desde la existencia de las primeras comunidades, el hombre ha tenido que buscar soluciones a los problemas que están ligados al manejo y disposición de los residuos sólidos generados en estas poblaciones. Hasta principios del siglo XX, los problemas eran resueltos con relativa facilidad, debido a la composición puramente orgánica de los mismos, ya que los residuos generados eran rápidamente incorporados a los ciclos existentes en la naturaleza.

Sin embargo, en los últimos años, el problema de explosión demográfica y el desarrollo tecnológico, han estimulado un cambio en los hábitos de consumo de la población, incidiendo en la generación de grandes cantidades de residuos sólidos en las poblaciones, rebasando la capacidad de la naturaleza para neutralizar los problemas de contaminación ambiental que se asocian con la disposición final de los residuos, siendo esta última la etapa final del manejo de los residuos sólidos de cualquier ciudad.

En lo que respecta a esta última etapa de los residuos sólidos municipales, el manejo de los mismos adquiere una relevancia todavía aún mayor, dada su incidencia directa en la salud pública y en los diferentes elementos del ambiente; incluyendo los problemas de queja pública y del deterioro estético, cuando no se cumple con los requerimientos y especificaciones que permiten controlarlos sanitariamente.

Desafortunadamente, todavía en la actualidad, la disposición final de los residuos sólidos en el país, se realiza mediante "Tiraderos a cielo abierto", actividad que consiste en depositar exclusivamente los residuos sólidos en el suelo, sin ningún control. Por lo anterior, algunas empresas particulares, dentro del contexto de sus políticas de saneamiento y mejoramiento del medio ambiente, han iniciado programas para la construcción y operación de rellenos sanitarios, con la finalidad de que las poblaciones importantes cuenten con un sitio para la disposición final de los residuos sólidos municipales, que cumpla con todas las condicionantes marcadas en la normatividad oficial.

En el caso particular de la zona metropolitana de Monterrey Nuevo León, desde la década de los ochenta se opera un relleno sanitario en el municipio de Salinas Victoria, donde se confinan los desechos municipales que se generan en esta zona y que ha sido operado por la empresa pública descentralizada llamada SIMEPRODESO. Por lo anterior, y tomando en consideración que se

cuenta con un terreno vecino al de esta empresa, se ha decidido construir un relleno sanitario, en el mismo municipio de Salinas Victoria, para que en un futuro cercano ayude a resolver las necesidades que demandará la disposición final de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, que se generan en el área metropolitana de Monterrey y sus áreas circunvecinas.

En este documento se presenta un proyecto ejecutivo del relleno sanitario, según la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 que establece las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, el diseño, la construcción, la operación, el monitoreo, la clausura y las obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. También se proporcionarán las herramientas necesarias para su evaluación. En los capítulos posteriores se describirán las actividades que se realizaron para el diseño de este proyecto, así como las acciones que debemos seguir para su correcta operación.

El objetivo general del trabajo de esta tesis es presentar un modelo de procedimiento para el diseño de un relleno sanitario y como objetivos específicos tenemos:

- Confirmar hipótesis considerada inicialmente.
- Aportar a la solución de los problemas de salud pública.
- Generar instalaciones apropiadas que ayuden al saneamiento ambiental de las comunidades.

- Contar con infraestructura urbana apropiada para la disposición final de residuos sólidos municipales e industriales de manejo especial.
- Describir las actividades que debe contar un relleno sanitario para su correcta operación.
- Describir las instalaciones con que cuentan un relleno sanitario y como dimensionarlas.

La hipótesis general que se nos planteo en un principio se fundó en la intención del propietario del terreno de obtener su mejor provecho económico, partiendo de la restricción de contar con dos sitios de disposición final actualmente en uso.

Al acudir al sitio nos percatamos de la fuerte vocación que tiene el terreno para convertirse en una instalación para la disposición final de residuos sólidos. Al reportar el resultado de la visita de inspección se mencionó que el tema de la minimización y control de los residuos es algo crecientemente importante en la República Mexicana a la luz de las necesidades concurrentes de protección ambiental y competitividad, y asociado a las ventajas de su ubicación con respecto a la cercanía a las vías de comunicación terrestres se optó por sugerirles el construir una instalación de disposición final de residuos.

De hecho, el crecimiento urbano e industrial demanda sitios en los cuales podamos disponer adecuadamente los residuos que generan, por lo que, invertir en ellos puede resultar económicamente ventajoso.

El manejo de los residuos sólidos en su sentido más amplio, generación, sitios de almacenamiento inicial, recolección, transferencia, transportación,

tratamiento y disposición final es un reto que México como país y particularmente la zona metropolitana de Monterrey están enfrentando para cumplir con lo establecido por la Ley General para la prevención y gestión integral de los residuos.

Esta legislación que tiene por objeto garantizar el derecho de todo ciudadano mexicano a un medio ambiente adecuado y propiciar el desarrollo sustentable a través de la prevención de la generación, de la valorización y la gestión integral de los residuos sólidos.

Entendiendo por residuo sólido el material o producto cuyo propietario o poseedor desecha, que se encuentra en estado sólido contenido en recipientes o depósitos y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final.

En conclusión, sugerimos diseñar para posteriormente construir en el terreno una instalación de disposición final de residuos sólidos, de acuerdo a las especificaciones a la norma oficial mexicana NOM-083-SEMARNAT/2004, que permita confinar permanentemente residuos sólidos previniendo su liberación al ambiente y las consecuentes afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos.

2. SELECCIÓN DEL SITIO

2.1. Ubicación local y geográfica del sitio:

El sitio seleccionado cuenta con un área de 157 hectáreas. Se encuentra ubicado en el centro del Estado de Nuevo León, a 22 kilómetros al Norte de la ciudad de Monterrey por la carretera estatal No. 1 en el tramo Monterrey-Colombia, entre los ríos Salinas y Pesquería, con coordenadas geográficas 25° 53' de latitud Norte y 100° 18' Oeste, tal como se puede apreciar en la Fig. 2.1.

ORIENTACIÓN	COLINDA CON:
NORTE	Comunidad Ejidal denominada "Alfonso Martínez Domínguez" o "El Leal"
SUR	Pedio que ocupa el organismo SIMEPRODESO
ESTE	Vías del Ferrocarril
OESTE	Relleno sanitario de la empresa Vigue

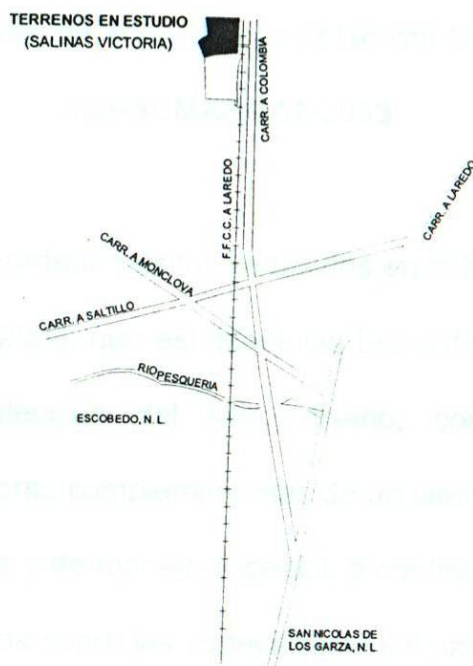


Figura 2.1. Ubicación del sitio.

Las colindancias del sitio son como se aprecian en el siguiente cuadro:

El acceso al sitio se da a través de un camino de terracería, construido por la empresa VIGUE, que mediante proceso legal obtuvo el derecho de paso al predio que está siendo utilizado como relleno sanitario y como banco de material de relleno, el cual se ubica al Oeste del predio en cuestión; dicho camino ofrece buenas condiciones para la circulación del tránsito vehicular en todo tiempo.

2.2. Evaluación del sitio, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003.

Tomando en cuenta los ordenamientos señalados en la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, que establece las Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial, a continuación se presenta una evaluación de los criterios sobre las especificaciones para la selección del sitio propuesto.

Para la evaluación del sitio propuesto se tomó en cuenta lo señalado en esta norma, que en el punto 6.1 menciona las restricciones para la ubicación del sitio y las condiciones mínimas que debe reunir cualquier sitio de disposición final (tipo A, B, C o D).

En la tabla 2.1, se presentan las restricciones marcadas en esta norma y la situación actual de cada condicionante.

RESTRICCION	SITUACION DEL SITIO	DIAGNOSTICO
6.1.1 Cuando un sitio de disposición final se pretenda ubicar a una distancia menor de 13 kms del centro de la(s) pista(s) de un aeródromo de servicio al público o aeropuerto, la distancia elegida se determinará mediante un estudio de riesgo aviario.	El Aeropuerto del Norte se ubica a una distancia aproximada de 5 Kilómetros al sureste del Sitio	No cumple
6.1.2 No se deben ubicar sitios dentro de áreas naturales protegidas, a excepción de los sitios que están contemplados en el Plan de manejo de éstas.	No se ubica dentro de un área natural	Cumple
6.1.3 En localidades mayores de 2500 habitantes, el límite del sitio de disposición final debe estar a una distancia mínima de 500 m., contados a partir del límite de la traza urbana existente o contemplada en el plan de desarrollo urbano.	El sitio se ubica a más de 500 metros de las localidades más cercanas. .	Cumple
6.1.4 No debe ubicarse en zonas de marismas, manglares, esteros, pantanos, humedales, estuarios, planicies aluviales, fluviales, recarga de acuíferos, arqueológicas, ni sobre cavernas, fracturas o fallas geológicas	No se ubica en ninguna de las restricciones señaladas.	Cumple
6.1.5. El sitio se debe localizar fuera de zonas de inundación con periodos de retorno de 100 años.	No se ubica en zona de inundación	Cumple

6.1.6 La distancia de ubicación del sitio, con respecto a cuerpos de agua superficiales con caudal continuo, lagos y lagunas, debe ser de 500 metros como mínimo.	No existen cuerpos de agua cercanos al sitio.	Cumple
---	---	--------

6.1.7 La ubicación entre el límite del sitio de disposición final y cualquier pozo de extracción de agua para uso doméstico, industrial, riego y ganadero, tanto en operación como abandonados, será de 100 metros adicionales a la proyección horizontal de la mayor circunferencia del cono de abatimiento.	No se localizó ningún pozo en uso o abandonado, en las cercanías del sitio	Cumple
---	--	--------

Tabla 2.1 Diagnóstico de la situación actual del sitio.

Tomando en cuenta las restricciones señaladas en esta norma y las condiciones que tiene el sitio propuesto, se observa que la única condicionante que no cumple el sitio seleccionado, es la referente a la distancia menor de 13 km del centro de la(s) pista(s) de un aeródromo de servicio al público o aeropuerto, ya que el Aeropuerto del Norte se ubica aproximadamente a 5 kilómetros de distancia. Sin embargo, considerando que el sitio propuesto se ubica entre los rellenos sanitarios de SIMEPRODESO y VIGUE, que actualmente se encuentran operando, sin que hasta la fecha dichos rellenos hayan ocasionado algún problema al aeropuerto señalado, se estima que el sitio seleccionado tampoco provocará afectación alguna al Aeropuerto del Norte. Por lo tanto, se puede concluir que el sitio cumple todas las condicionantes, por lo que se considera apto para la construcción del relleno sanitario.

3. CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO FÍSICO

A continuación, se presenta una breve descripción de las características del medio físico del municipio de Salinas Victoria, que es donde se ubicará el relleno sanitario. En los estudios previos anexos a este informe se presentan, de manera más detallada, las características topográficas, geológicas, geohidrológicas y geotécnicas del terreno en donde se construirá el relleno sanitario.

3.1. Ubicación.

El municipio de Salinas Victoria está localizado en la región del centro del estado de Nuevo León o región del Golfo, encontrándose ubicado al noroeste de la capital Monterrey, entre los paralelos 25°58' latitud norte y 100°18' longitud oeste, a 32 km de Monterrey y a una altura sobre el nivel del mar de 464 m. Colinda con 11 municipios; al norte, con Villaldama y Sabinas Hidalgo; al sur, con General Escobedo y Apodaca; al este, con Higuera, Ciénega de Flores y General Zuazua y al oeste, con Mina, Hidalgo, Abasolo y el Carmen.

Figura 3.1.

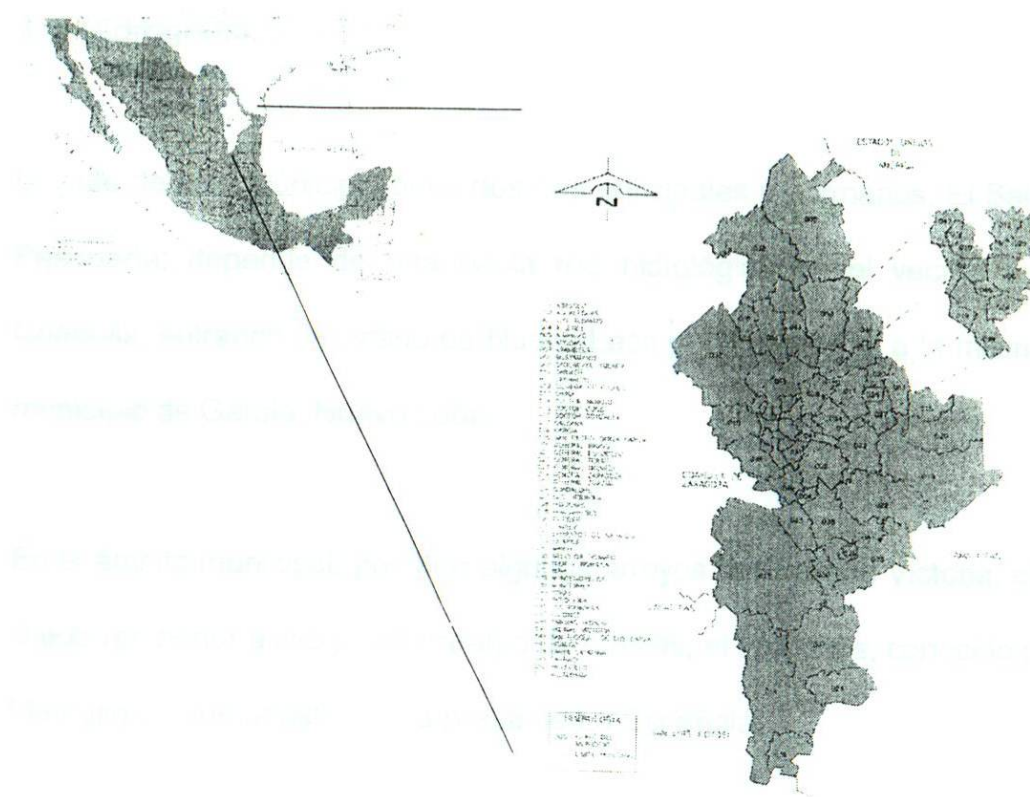


Figura 3.1. Ubicación del estado y municipios de Nuevo León.

3.2. Extensión.

El territorio del municipio mide 1,334.20 kilómetros cuadrados.

3.3. Orografía.

Salinas Victoria tiene la sierra de Minas Viejas, los cerros de El Espía, Milpillas, de Enmedio y Sierra de Gomas.

3.4. Hidrografía.

El valle de este municipio tiene dos ríos principales y hermanos, El Salinas y El Pesquería; depende de una basta red hidrológica en el vecino estado de Coahuila, entrando al Estado de Nuevo León por Paredón y, a la misma vez, al municipio de García, Nuevo León.

En el ámbito municipal, por citar algunos arroyos: en Salinas Victoria, el de San Diego (en honor a Diego Villarreal) o de Gomas, el Picachos, conocido por el de Mamulique, que abastece a la presa de La Española.

3.5. Clima.

El municipio referido cuenta con dos tipos de clima (A) C, tipo semicálido y (Bsh) seco estepario caliente. La temperatura media anual es de 21°C a 23°C, y tiene temperaturas, en verano, de 28 °C a 36°C y en invierno de 6°C a 0°C. La precipitación anual es de 380 milímetros y se presenta el régimen de lluvias en el mes de septiembre.

4. DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO

4.1. Generación y composición de los residuos sólidos.

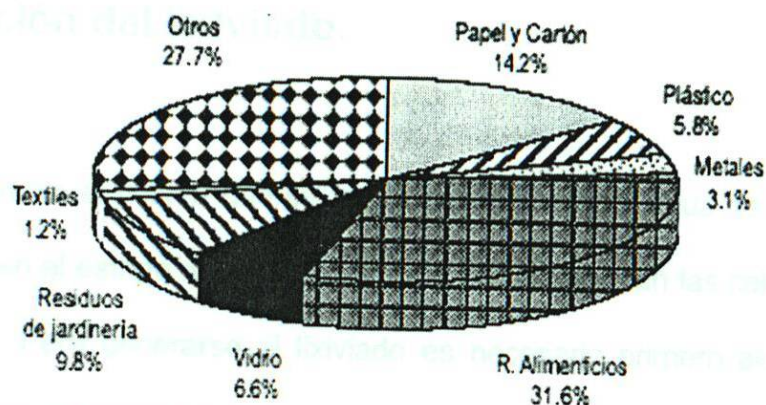
El relleno sanitario a construir no será público, sino que será privado, en donde se espera recibir, en un lapso de un año aproximadamente, la cantidad mínima de 100 toneladas diarias. Por esta razón, su diseño se llevó a cabo como un relleno sanitario tipo A, de acuerdo con lo señalado en la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, comprendiendo todas las restricciones y alcances señalados en esta Norma Oficial.

La vida útil del relleno sanitario se determinará estimando que en el primer año se recibirá un promedio diario de 100 toneladas, y que a partir del segundo año se tendrá un incremento anual del 15%, con respecto al año anterior. Sin embargo, la vida útil se diseñará considerando el volumen de cada una de las celdas que conforman el relleno, por lo que las variaciones en el ingreso de los residuos, pueden alterar esta vida útil.

El Instituto Nacional de Ecología zonificó al país en 5 regiones, de acuerdo con sus características geográficas, para obtener indicadores confiables en localidades con carencia de esta información (figura siguiente).



Según lo anterior, el relleno sanitario a construir se encuentra ubicado en la zona norte, la cual está formada por los estados de Baja California, Coahuila, Sonora, Chihuahua, Nuevo León, Tamaulipas, Baja California Sur, Durango, San Luis Potosí, Sinaloa y Zacatecas. De acuerdo con lo anterior, los subproductos más importantes y sus porcentajes de generación esperados son los siguientes:



FUENTE: INE/SEDESOL

➤ Papel y cartón	14.2%
➤ Plástico	5.8%
➤ Metales	3.1%
➤ Textiles	1.2%
➤ Vidrio	6.6%
➤ Residuos alimenticios	31.6%
➤ Residuos de jardinería	9.8%
➤ Otros	27.7%

En donde se observa que el rubro de los residuos alimenticios tiene el mayor porcentaje, con un 31.6%, seguido por el de papel y cartón con un 14.2% y el de residuos de jardinería, con un 9.8%. El de vidrio tiene un 6.6%, el plástico un 5.8% y los metales un 3.1%. De acuerdo con los tipos y porcentajes de los residuos que ingresen al relleno sanitario, más adelante se tomará la decisión para implementar la recuperación y el reciclado de uno o varios subproductos, así como el aprovechamiento de la materia orgánica para la producción de composta. Por lo anterior, el diseño del relleno sanitario contempla un área que más adelante pueda aprovecharse para la construcción de alguna instalación para el tratamiento o recuperación de los residuos sólidos que ingresen a este sitio.

4.2. Generación del lixiviado.

Se denomina lixiviado al líquido que se forma por el paso del agua de lluvia y/o agua metabólica en el estrato de residuos sólidos que conforman las celdas en el relleno sanitario. Para generarse el lixiviado es necesario primero alcanzar el punto de saturación de humedad de los residuos y que siga entrando más agua al estrato de los residuos, en su paso, el agua ya convertida en lixiviado arrastra materiales en suspensión, en solución y una gran variedad de microorganismos existentes en la biomasa de los residuos sólidos. Esta situación hace del lixiviado un elemento de gran potencial contaminante y, por tal motivo, su control se convierte en parte indispensable del diseño del relleno sanitario.

Debido a la importancia que representa el lixiviado sin control, como una de las principales fuentes de contaminación del subsuelo, de los mantos freáticos y de los acuíferos, a continuación, se analizan los factores que intervienen en su formación.

4.2.1. El ciclo hidrológico.

Tomando en consideración la influencia que ejercen las fases que intervienen en el ciclo hidrológico para la formación del lixiviado en el relleno sanitario, a continuación se describen los procesos del ciclo.

4.2.2. Precipitación.

La precipitación es sin duda uno de los factores más importantes del ciclo, ya que proporciona el agua que se infiltra en el relleno sanitario; primero, llevando a la saturación al material de cubierta; posteriormente, a los residuos sólidos en donde se forma el lixiviado y, finalmente, a las capas inferiores del relleno sanitario y al suelo.

4.2.3. Infiltración.

Es el proceso en el cual el agua de lluvia se introduce, de la superficie, al estrato de residuos ahí depositados, una vez que ha sido saturada la capa de material de cubierta. Se iniciando así el primer paso para la formación del lixiviado.

4.2.4. Percolación.

La percolación es el movimiento del agua a través del estrato de residuos sólidos; este proceso está directamente relacionado con las características contaminantes del lixiviado que se produce, ya que al paso del agua, algunos materiales se solubilizan y otros son arrastrados en suspensión. Estos materiales, en conjunto, proporcionan las cualidades altamente contaminantes de lixiviado.

4.2.5. Evapotranspiración.

La evapotranspiración es la conjunción de la evaporación, que es la humedad que retorna a la atmósfera, debido a la vaporización del agua de lluvia, influyendo directamente por la acción de la energía solar. La transpiración es la humedad que retorna al aire como vapor de agua y proviene de la superficie de la vegetación. Aproximadamente, tres cuartas partes de la precipitación total regresan directamente a la atmósfera por medio de la evaporación o la transpiración.

La evaporación y la transpiración son difíciles de separar y generalmente se les considera unidas, dando lugar a la evapotranspiración. Este fenómeno es un auxiliar natural que previene la formación del lixiviado, ya que disminuye la cantidad de agua almacenada que puede estar en contacto con los residuos.

4.2.6. Escurrimiento.

El escurrimiento representa el agua que no se infiltra a través de la superficie del suelo y se transporta libremente sobre el mismo, este proceso, en conjunción con la evaporación, son los procesos de mayor utilidad en la prevención de la generación del lixiviado.

En la figura 4.1, se presenta gráficamente el ciclo hidrológico anteriormente descrito

CICLO HIDROLOGICO

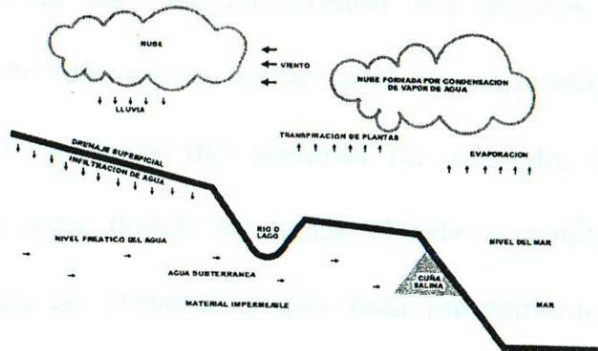


Figura No. 4.1. Ciclo hidrológico.

4.2.7 Cálculo de la producción de lixiviado.

Existen varios métodos para el cálculo teórico de la producción de lixiviados en un relleno sanitario. En este documento se presentará el método de balance de agua de Thornthwaite.

4.2.8. Método del Balance de Agua de Thornthwaite.

El climatólogo norteamericano C. Warren Thornthwaite estableció, en 1948, un método de clasificación climática en el que considera a la evapotranspiración

potencial como elemento básico, mismo que calcula en función de la temperatura, de la duración del día y del número de días del mes.

En la utilización de este método existen tres factores críticos que hay que considerar en su desarrollo; estos son: la capacidad del suelo para el almacenamiento de agua del material de cubierta, la evapotranspiración potencial de la zona donde se ubica el relleno sanitario y, finalmente, el escurrimiento que se presenta y que está íntimamente relacionado con las características del material de cubierta utilizado.

Explicado de manera sencilla, este método consiste en afectar la precipitación por factores ya determinados en el laboratorio, para determinar el valor del escurrimiento, el cual se resta del de la precipitación, para encontrar así la infiltración de agua al relleno sanitario; al valor de esta infiltración se le resta el de la evapotranspiración potencial de la zona, que determina el agua que realmente se infiltra. Con esta última información se pasa a determinar la capacidad de almacenamiento de humedad del suelo. Posteriormente se determina el cambio en el almacenamiento de dicha agua en el suelo y se calcula la evapotranspiración real; para, finalmente, calcular la producción de lixiviado, en forma mensual y total anual.

Los datos necesarios para trabajar con este sistema son: a) las temperaturas medias mensuales en °C y b) las precipitaciones medias mensuales en cm. del lugar. Por lo que se refiere a la duración del día, lo que interesa es el tiempo de

iluminación solar y el factor de corrección el cual se calcula para cada mes según la latitud. Los valores de temperatura y precipitación se toman de los registros proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional, referentes a la estación climatológica 00019134, ubicada en las coordenadas latitud norte 25°55' y 100°18' longitud dentro del municipio de Salinas Victoria, donde el periodo de observación fue de 1979 a 2000. En la tabla 4.1 se presentan los valores de las precipitaciones y las temperaturas medias mensuales registradas en esta estación meteorológica, en el periodo mencionado.

PARAMETRO	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Octubre	Nov	Dic
Temperatura	14.13	16.73	20.14	23.65	27.20	29.07	29.47	29.75	27.07	22.72	18.54	14.72
Precipitación	26.12	12.04	21.84	33.57	50.33	57.69	33.47	59.56	88.23	31.15	14.44	15.21

Tabla 4. 1. Precipitaciones (mm) y temperaturas medias mensuales (°C)

Determinación de la evapotranspiración potencial mensual y anual (PETNA)

Por evapotranspiración potencial se entiende la cantidad de agua que se perdería por evaporación y transpiración, si el suelo estuviese saturado de agua. Thornthwaite realizó una serie de medidas de evapotranspiración potencial en varios lugares de los Estados Unidos y encontró que:

$$ep = 1.6 (10t / I)^a \quad \text{en donde:}$$

- ep = Evapotranspiración potencial mensual en cm
- t = Temperatura media mensual en °C
- I = Índice de calor anual que es igual a la suma de los doce índices de calor mensual.
- i = Índice de calor mensual.
- $a = 6.75 \times 10^{-7} I^3 - 7.71 \times 10^{-5} I^2 + 1.79 \times 10^{-2} I + 0.49239$
- $i = (t / 5)^{1.514}$

Lo anterior permite calcular la evapotranspiración potencial no ajustada; la evapotranspiración potencial mensual ajustada (PET) se obtiene introduciendo una corrección para la duración de la luz del sol en el lugar estudiado; esto es, multiplicando la evapotranspiración no ajustada por un factor de corrección K_C :

$$PET = PETNA \times K_C$$

Donde:

- PET = Evapotranspiración ajustada (mm)
- $PETNA$ = Evapotranspiración potencial no ajustada (mm)
- K_C = Factor de corrección que depende de la latitud del lugar en estudio y del mes que se analiza.

Infiltración.

El agua de infiltración es aquella que no ha sido evaporada o no ha escurrido en el suelo; es decir, la que se introduce a través de éste. Esta infiltración depende de varios factores, entre los cuales destaca la naturaleza del suelo, el clima y la vegetación. Esta componente se determina mediante la siguiente ecuación:

$$I = P - R/O$$

Donde:

- I = Infiltración mensual (mm)
- P = Precipitación pluvial mensual (mm)
- R/O = Escurrimiento superficial mensual (mm)

Almacenamiento de humedad en el suelo.

Uno de los factores mediante el cual la cubierta de suelo del sitio de disposición final influye sobre la cantidad de percolación, es a través de su capacidad de almacenamiento de humedad. Ésta depende del tipo, la estructura, la capacidad de campo y la profundidad de la capa de cubierta final.

Para determinar la capacidad de almacenamiento de agua en la cubierta diaria que tendrán las celdas en este relleno sanitario, se consideró una capacidad de campo de 250 mm/m, que es el valor aproximado de la arcilla de baja

plasticidad que se encontró en el sitio, y se consideró un espesor del material de cobertura de los residuos de 0.30 m, por lo que:

$$\text{Capacidad de campo} = 250 \text{ mm/m} \times 0.30 \text{ m} = 75 \text{ mm}$$

Evapotranspiración real.

La evapotranspiración real es la estimación de la evaporación y transpiración que se da en la zona de estudio por las temperaturas alcanzadas en el suelo y su vegetación. Para esto, es necesario tomar en cuenta factores tales como: la humedad del suelo, la infiltración y la evapotranspiración potencial ajustada, de acuerdo con la latitud.

Percolación.

Después de que se alcanza un máximo en la humedad de la capa final, existirá un exceso en la infiltración y, por lo tanto, se provocará la percolación a través de la cubierta; para, posteriormente, pasar a los estratos de residuos en donde se formarán los lixiviados.

El método de balance de agua, incluyendo todos los parámetros anteriormente descritos, se presenta en la tabla No. 4.2, en donde se observa que debido a que en esta región la temperatura es mayor que la precipitación (con una precipitación pluvial mínima), el efecto de evapotranspiración hace nula la

producción de lixiviados. Sin embargo, si se considera que los residuos se cubrirán diariamente en la parte superior de la celda, pero que el frente de trabajo permanecerá descubierto, la posibilidad de que se generen lixiviados durante la época de lluvias existe; por lo que se recomienda construir una fosa para la captura de los lixiviados que puedan llegar a producirse. En el capítulo correspondiente al sistema para control de lixiviados, se describe el método a emplear en su captación, almacenamiento y control.

Parámetros	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Octubre	Nov	Dic
T	14.13	16.73	20.14	23.65	27.20	29.07	29.47	29.75	27.07	22.72	18.54	14.72
i	4.82	6.22	8.24	10.51	12.99	14.36	14.67	14.88	12.90	9.89	7.27	5.13
PETNA	2.26	3.34	5.14	7.48	10.35	12.08	12.48	12.75	10.24	6.81	4.24	2.48
	22.58	33.40	51.44	74.80	103.55	120.83	124.77	127.52	102.44	68.13	42.44	24.80
PET	20.77	29.39	52.99	80.04	120.12	138.96	145.98	142.83	104.49	67.45	38.62	22.56
P	26.12	12.04	21.84	33.57	50.33	57.69	33.47	59.56	88.23	31.15	14.44	15.21
Q/o	0.13	0.13	0.13	0.13	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.13	0.13
R/O	3.40	1.56	2.84	4.36	8.56	9.81	5.69	10.12	15.00	5.29	1.88	1.98
I	22.72	10.47	19.00	29.21	41.77	47.89	27.78	49.43	73.23	25.85	12.56	13.23
HPET	1.95	-18.92	-33.98	-50.83	-78.34	-91.07	-118.20	-93.39	-31.26	-41.59	-26.06	-9.33
+NEG(HPET)	0.00	-18.92	-52.90	-103.73	-182.07	-273.15	-391.35	-484.74	-516.00	-557.59	-583.65	-592.98
ST	75.00	65.50	52.50	37.00	22.00	11.50	5.50	2.00	0.50	0.00	0.00	0.00
&ST	0.00	-9.50	-13.00	-15.50	-15.00	-10.50	-6.00	-3.50	-1.50	-0.50	0.00	0.00
AET	22.72	19.97	32.00	44.71	56.77	58.39	33.78	52.93	74.73	26.35	12.56	13.23
PERC	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 4.2, Producción estimada de lixiviados.

4.2.9. Análisis de la contaminación.

La contaminación del agua subterránea se caracteriza por la diversidad de sus formas y de sus orígenes, abarcando un panorama que va, desde las fuentes superficiales naturales o creadas por el hombre, hasta aquellas situadas en los propios sedimentos profundos.

La contaminación resultante en dichas fuentes se relaciona con el uso que se hace del suelo y por el alcance geográfico del sitio, lo que da lugar a problemas locales o regionales. La contaminación del agua subterránea por los residuos sólidos se caracteriza por la gran variedad de sustancias químicas, orgánicas e inorgánicas que son arrojadas en los sitios de disposición final (tiraderos a cielo abierto y rellenos sanitarios); lo cual da a estos sitios la particularidad de poder ser considerados como una fuente de contaminación local o puntual.

El problema de contaminación en los sitios de disposición final ocurre principalmente cuando los residuos sólidos están expuestos a la precipitación pluvial, lo cual provoca un aumento importante en la cantidad de compuestos lixiviados. En algunas situaciones, debido a las altas concentraciones de contaminantes en el agua de lixiviación y a que el suelo frecuentemente no posee la suficiente capacidad de retención, el agua subterránea puede verse contaminada.

Los contaminantes que son introducidos en el terreno en forma de residuos líquidos se desplazan por sí mismos, pero las materias sólidas han de ser previamente disueltas. Una vez en forma diluida, el soluto sufre, a lo largo de su camino, los efectos de un conjunto de factores físicos y químicos que influyen en su movimiento y distribución. A continuación se describe este fenómeno en las zonas no saturada y saturada, respectivamente.

4.2.10. Zona no saturada.

Considerando, en primer, lugar el desplazamiento del agua y las sales disueltas a través de la zona no saturada (o zona de aireación), hacia el manto acuífero, la componente vertical de este movimiento es más importante que la pequeña dispersión horizontal. Puesto que el movimiento del soluto depende, en una gran medida, del movimiento del agua, debe también depender de los mismos factores físicos.

En lo que respecta al medio no saturado, existen propiedades o características hidráulicas del transporte de masa que influye en el grado de desplazamiento de los contaminantes, a continuación se presentan las más importantes:

a) La conductividad hidráulica (Ley de Darcy) del suelo. La conductividad hidráulica, junto con el gradiente hidráulico entre la superficie del terreno y la superficie piezométrica, determinan el movimiento del agua. Si la conductividad hidráulica del suelo es bastante alta, puede producirse una fuerte evaporación, y el movimiento ascendente de las sales; debido a este fenómeno es probable que también sea importante, teniendo lugar la acumulación de sales en la superficie. La existencia de un foco de humedad, como la lluvia, puede hacer penetrar las sales profundamente en la zona no saturada, dependiendo del grado de humedad.

b) El contenido en humedad (agua) de un suelo representa el volumen relativo del mismo, ocupado por el agua. Cuando el suelo está saturado, todos los huecos están rellenos de agua y el contenido de humedad es igual a la porosidad. El movimiento descendente de los solutos, está particularmente influido por este contenido en humedad. Generalmente, los contenidos bajos en humedad, como ocurre en los suelos arenosos, favorecen una mayor velocidad descendente del soluto.

c) El volumen poroso activo en relación con el inactivo (o en "callejón sin salida"), influye también en el movimiento, constituyendo un problema particular en terrenos no saturados o consolidados, donde junto a grandes poros que dejan pasar el agua con facilidad, existen otros mucho más pequeños y aislados que admiten el soluto fundamentalmente por difusión molecular. En consecuencia, el soluto se desplaza a través del terreno más rápidamente, debido a la disminuida actividad del contenido en humedad; sin embargo, y al mismo tiempo, parte del soluto se queda (atrás), atrapado en los mencionados poros inactivos.

d) El grado de heterogeneidad del suelo tiene una influencia doble; por un lado, la distribución del tamaño de los pozos produce o puede producir el efecto de "callejón sin salida"; por el otro, una estratificación sedimentaria ocasiona una variación especial de la humedad y de la conductividad hidráulica, que a su vez influye en la velocidad de desplazamiento del soluto.

e) Las condiciones en los límites de la zona no saturada influyen en la cantidad de humedad disponible para percolación y/o evapotranspiración. En consecuencia, son las condiciones en los límites las que determinan el movimiento ascendente o descendente del agua y el soluto, en un suelo determinado y en un momento dado. En áreas húmedas, por debajo de los primeros centímetros a partir de la superficie, el sentido del flujo es fundamentalmente descendente. En regiones áridas, será ascendente durante períodos de fuerte evapotranspiración, y descendente cuando haya aporte de agua (riegos, por ejemplo).

f) Según va atravesando la zona no saturada, el soluto se va extendiendo. Este hecho puede ser debido en parte al efecto de "callejón sin salida"; pero también lo es debido a la dispersión.

En zonas no saturadas, la dispersión suele ser más importante que en las zonas saturadas, aunque generalmente es de importancia secundaria frente al proceso de convección. En otras palabras, el movimiento del soluto debido a la dispersión es normalmente poco importante, frente al transporte del mismo en el seno del agua que se infiltra.

El clima de una región también ejerce su influencia sobre estas características y propiedades físicas. El recorrido de los elementos en solución depende de la cantidad de agua que penetra en el suelo; cuanto mayor sea la precipitación pluvial, mayor será probablemente la profundidad a que se encontrará el soluto en

un determinado terreno. En el caso de encontrarse en los 30 cm. superiores del terreno, un soluto puede desplazarse hacia la superficie, debido a evaporación, pero si la precipitación es suficiente para arrastrar al soluto por debajo de esta zona, probablemente alcanzará el acuífero subterráneo.

El paso de un soluto a través de la zona de aireación, aún en el caso de no existir fenómenos químicos, pueden durar años, debido a la baja velocidad del agua en su movimiento de percolación. Existen, sin embargo, fenómenos de tipo pulsatorio, donde se produce una especie de onda de presión, y gracias a la cual, el grado de saturación del terreno (no las partículas de agua por sí mismas) se trasmite, por así decirlo, en forma ondulatoria, en semanas o meses. De todas formas, y en circunstancias favorables, el soluto puede alcanzar la superficie piezométrica en cuestión de horas, aunque un orden de magnitud más realista sea el de días o semanas. Una vez que la contaminación alcanza la zona saturada, suele extenderse lateralmente y moverse en la dirección general del flujo subterráneo.

4.2.11. Zona saturada.

Una vez alcanzada la superficie piezométrica, el contaminante puede penetrar en el acuífero o flotar sobre él. Este último caso puede ser debido, por ejemplo, a la elevada temperatura de un contaminante, a pesar de ser este miscible, o bien a la

inmiscibilidad de ciertos fluidos de baja densidad, tales como los hidrocarburos (petróleo, gasolina, etc.). En cualquier caso, una vez introducido en el sistema, el contaminante sigue el flujo hacia la zona de descarga natural del acuífero, que puede ser el mar, un río, lago manantial, zona pantanosa, o bien un pozo de bombeo.

4.2.12. Análisis de contaminación por carga catiónica

El movimiento del agua contaminada se ve sujeto a unos factores físicos idénticos o parecidos a los que fueron enumerados para la zona de aireación. Es decir, que el movimiento conectivo del agente contaminante depende del campo de flujo del agua subterránea; el cual, a su vez, es función de la distribución de las alturas piezométricas, de la distribución de la conductividad hidráulica y de las condiciones en los límites (o condiciones de borde), tales como fuentes, extracciones, bordes impermeables, etc.

En los acuíferos confinados, el flujo es predominantemente horizontal, debido a la presencia de estratos combinados, a menos que exista una importante pendiente en la formación. En los acuíferos libres, el flujo es también fundamentalmente horizontal, aunque existe una cierta componente vertical en el movimiento. El soluto o agente contaminante puede desplazarse, además, en forma limitada, debido a fenómenos de recarga, diferencia de densidades y dispersión.

De acuerdo con las condiciones físicas del terreno en donde se va a ubicar el relleno sanitario, se presenta el siguiente análisis de contaminación. Es importante mencionar que este análisis se llevará a cabo considerando únicamente la zona no saturada y de acuerdo con los resultados encontrados se efectuará el análisis para la zona saturada.

4.2.12. Análisis de contaminación por carga catiónica.

Algunos materiales, como la arcilla y la materia orgánica, están cargados negativamente y son capaces de absorber cationes. Los cationes que son absorbidos se denominan cationes de cambio, ya que pueden ser cuantitativamente reemplazados por otros, sin destruir los coloides del suelo. La cantidad de cationes cambiables que un suelo es capaz de absorber recibe el nombre de capacidad de intercambio catiónico, y se mide en términos de meq/100 gr de suelo. En la figura No. 4.2, se presenta de manera grafica el proceso del intercambio catiónico en los suelos.

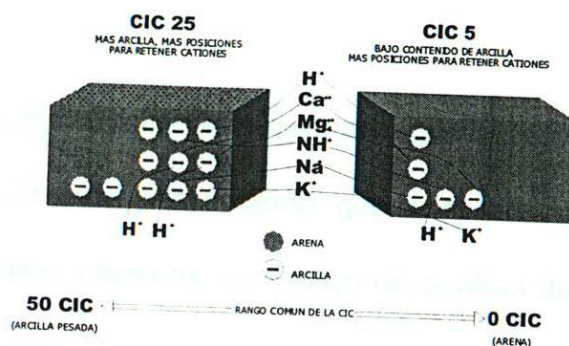


Figura 4.2. Proceso del intercambio catiónico en los suelos.

El análisis de contaminación por carga catiónica sirve para determinar la interfase del suelo necesaria para remover la cantidad total del lixiviado que se produzca en el futuro relleno sanitario. Por lo tanto, si:

$$I = 400 \frac{C}{CIC (Pv)} i$$

Donde:

I = interfase en metros

C = concentración catiónica del lixiviado = 411 - 440 meq/l*

CIC = capacidad de intercambio catiónico del suelo en meq/100

Pv = peso volumétrico del suelo kg/m³

i = infiltración en m/m² del relleno-año

Sanchez Gomez Jorge. **Herramientas para diseño y operación de sistemas de control para la disposición final de residuos sólidos municipales. 1er Simposio AMCRESPAC, México, D. F. Abril, 1990.*

Considerando la precipitación media más alta que ocurre durante el mes de septiembre con 88.23 mm y estimando que esta precipitación se infiltrará totalmente a los mantos inferiores, se realizó un análisis de contaminación por carga catiónica para este sitio.

Para conocer la C.I.C. del suelo se tomó una muestra y se envió al laboratorio. Se solicitó analizar los cuatro principales componentes (Ca, Mg, Na y K). Los resultados encontrados en esta muestra son:

Elemento	C.I.C. (meq/100 grs)
Ca	7.38
Mg	16.35
Na	2.22
K	1.86
C.I.C. TOTAL	27.81

Con este valor de 27.81 m.e.q./100 - grs, y con un peso volumétrico igual a 1,786 kgs/m³, se determinó la interfase.

Sustituyendo valores se tiene:

$$I = 400 \frac{440}{27.81 (1786)} 0.08823 = 0.312 \text{ metros de interfase.}$$

De acuerdo con el resultado encontrado, y tomando en cuenta que en este sitio el nivel freático se encuentra aproximadamente a 12 metros de profundidad, se determina que no es necesario impermeabilizar la base del relleno sanitario,

para proteger a los mantos acuíferos de una contaminación por lixiviados. Sin embargo, considerando el diseño de las celdas y el método de operación propuesto (en su primera etapa se efectuará la operación mediante el método de trinchera), en donde para obtener más vida útil y material para la cobertura de los residuos, se llevarán a cabo excavaciones de 3 a 5 metros; se estima, de acuerdo con el estudio de mecánica de suelos, que a esas profundidades se podrían encontrar arcillas arenosas e inclusive capas de canto rodado intercaladas que facilitarían la infiltración de los lixiviados a los mantos inferiores. Por otra parte, si se considera la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, en donde se señala que todos los sitios de disposición final deben contar con una barrera geológica natural o equivalente a un espesor de 1 metro y una permeabilidad de al menos 1×10^{-7} cm/seg o bien garantizarla con un sistema de impermeabilización equivalente, *se recomienda impermeabilizar las bases y taludes de las trincheras del relleno sanitario, mediante la aplicación de algún método natural o artificial.*

4.3. Método de operación.

La selección del método de operación para todo relleno sanitario depende de la topografía y de las características del suelo del sitio seleccionado. En la figura No. 4.3, se presenta la topografía actual del sitio, observándose que el terreno cuenta con una extensa superficie y con una pendiente mínima que va del suroeste al noreste.

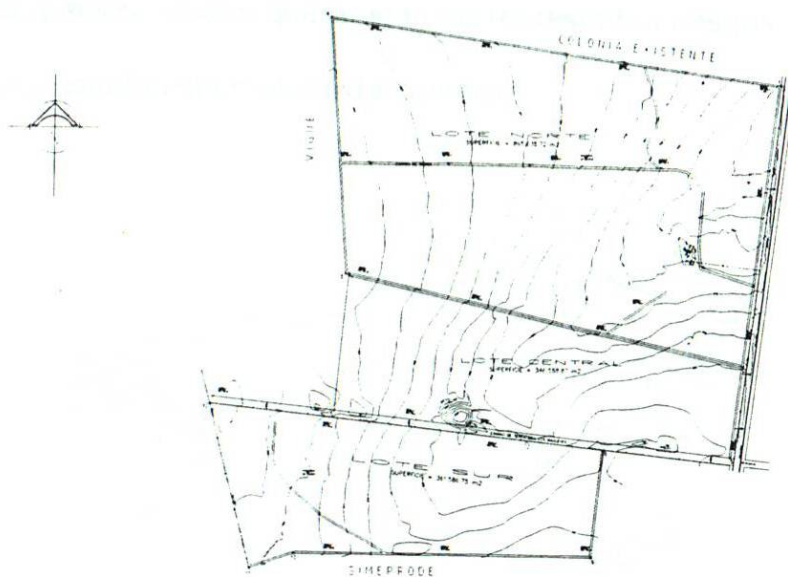


Figura 4.3. Topografía actual

A continuación, se presenta la descripción de los diferentes métodos de operación que pueden llevarse a cabo en un relleno sanitario; posteriormente, se definirá el método a utilizar, el cual será el que esté más acorde a las características topográficas del sitio seleccionado.

4.3.1. Método de zanja o trinchera.

En este método se excavan zanjas o trincheras en el terreno, a fin de depositar ahí los residuos sólidos y posteriormente utilizar el material extraído para su cobertura. Por lo anterior, este método se realiza cuando el terreno presenta características favorables para efectuar excavaciones. Por lo general, las trincheras se construyen formando cualquier figura geométrica, tomando en

4.3.2. Método de área.

Este método se emplea cuando el terreno, dadas sus características físicas, no es apto para la excavación de zanjas o cuando se llenan las zanjas; son ejemplos típicos, cuando el nivel del agua freática se localiza a escasa profundidad y cuando el suelo es demasiado duro y dicho material no puede ser utilizado para cobertura.

En este método, los residuos se descargan en el suelo, los cuales son acarreados y compactados en celdas de aproximadamente 2-3 metros de altura en capas de 40 a 80 centímetros de espesor y cubiertos al final del día. Ver figura 4.5.

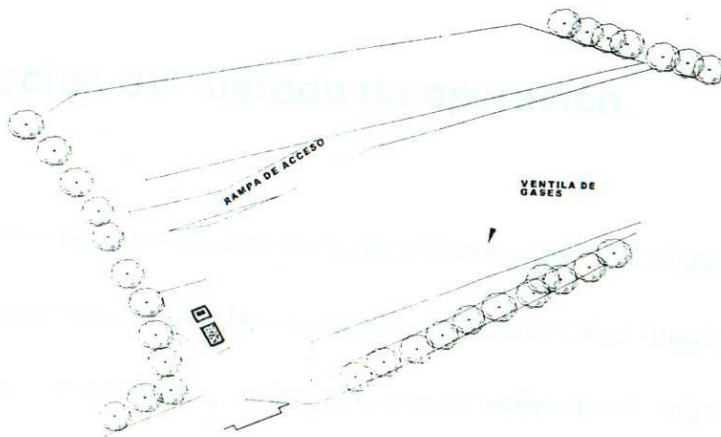


Figura 4.5. Método de área.

4.3.3. Método combinado.

Este método se efectúa cuando se utiliza la combinación de los métodos anteriormente descritos. Figura 4.6.

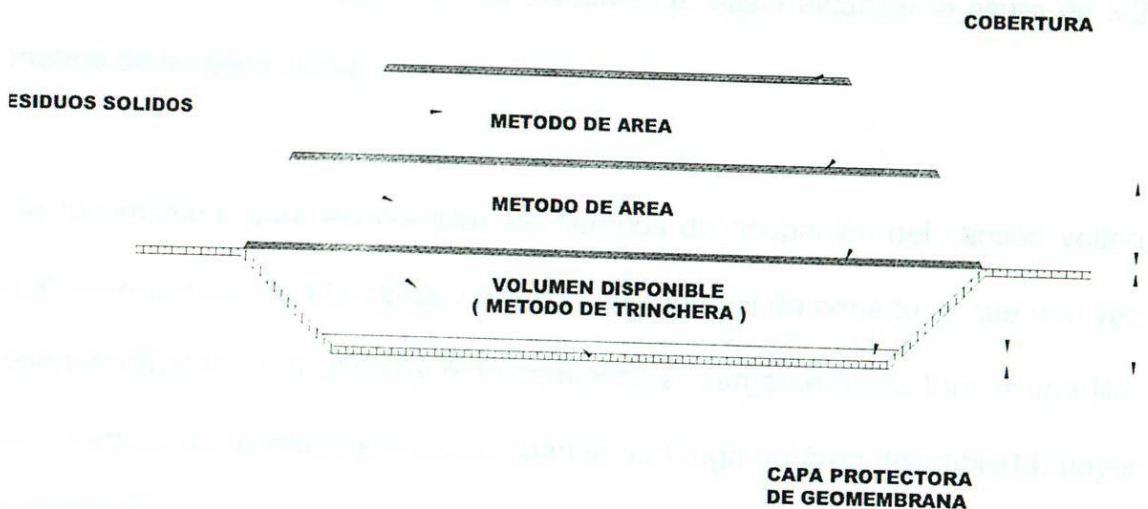


Figura 4.6. Método combinado

4.4. Selección del método de operación.

De acuerdo con las características topográficas y geohidrológicas que se tienen en este sitio, se decidió que la operación se lleve a cabo mediante la utilización de un método combinado, utilizando primeramente el método de zanja o trinchera, que permitirá contar con material para la cobertura de los residuos y posteriormente, cuando las trincheras se llenen, continuar trabajando mediante el método de área.

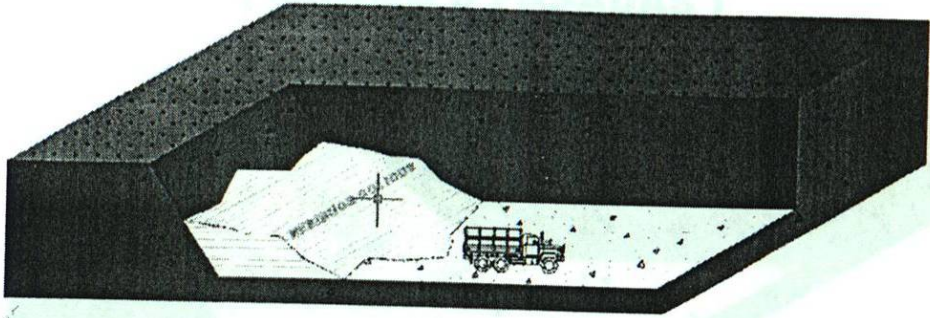
La operación se iniciará dentro de la primera trinchera, depositando los residuos al pie del talud, teniendo cuidado de que no se rebase la longitud del frente de trabajo previamente definido, donde se formará la celda diaria. Posteriormente los residuos se empujarán y colocarán en capas de 0.60 m de espesor, formando un talud con pendiente 1:3 que será el frente de trabajo de la celda diaria. Esta secuencia se realizará diariamente, hasta alcanzar la altura de 3.2 metros de la celda diaria.

Se recomienda, para economizar los tiempos de ocupación del camión volteo que se empleará para la carga y acarreo del material de cobertura, que una vez que se forme la celda diaria y ésta comience a alargarse hasta formar una fila, la cobertura de residuos se realice cuando se tenga un área descubierta mayor que 50 m².

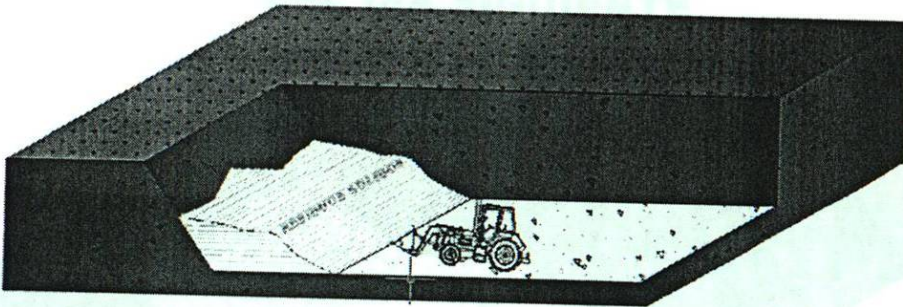
Durante la operación mediante el método de área, para efectuar la cobertura, se debe construir una rampa de acceso, formada con residuos y cubierta en su parte superior con 0.40 m de material producto de la excavación, lo que permitirá que el tránsito y acceso del camión de volteo a la parte superior de la celda, se realice sin problemas.

En la figura 4.7, se presenta la secuencia de la operación descrita.

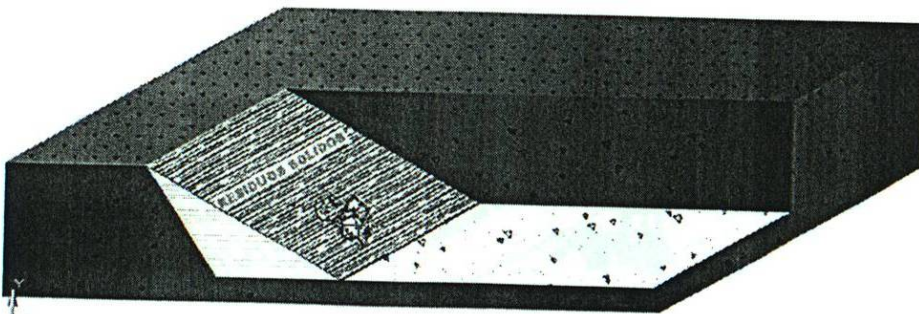
1.- DESCARGA



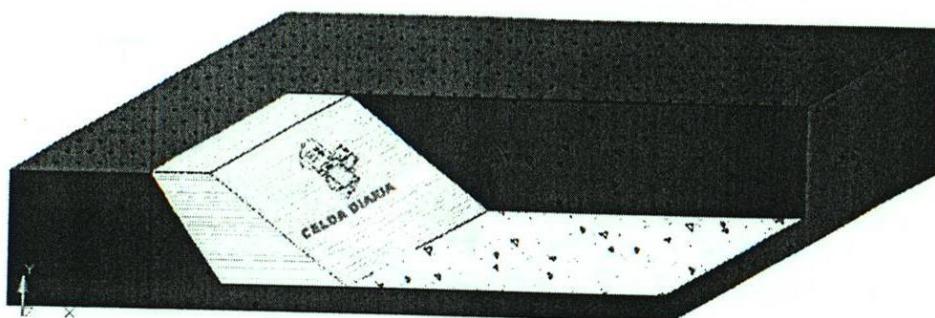
2.- EMPUJE DE LOS R.S.



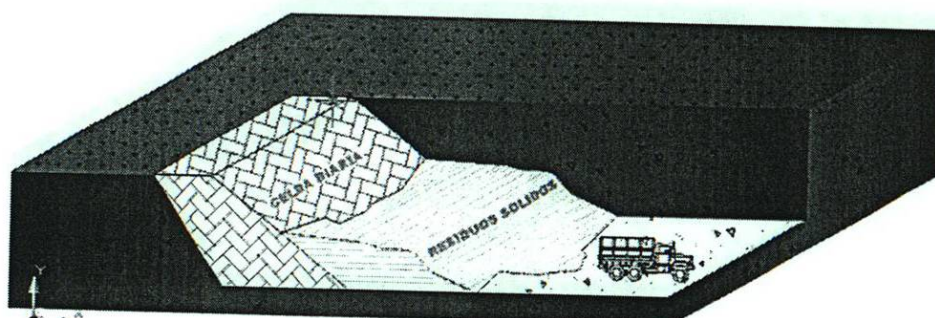
3.- COMPACTACION DE RESIDUOS SOLIDOS



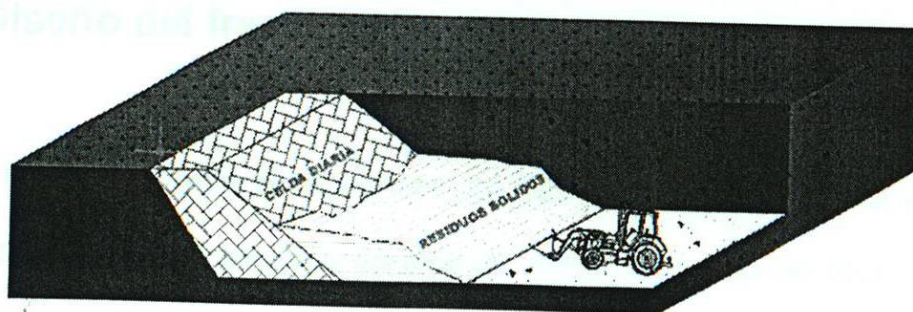
4.- COMPACTACION Y CONFORMACION DE LA CELDA (MINIMO 3 PASADAS)



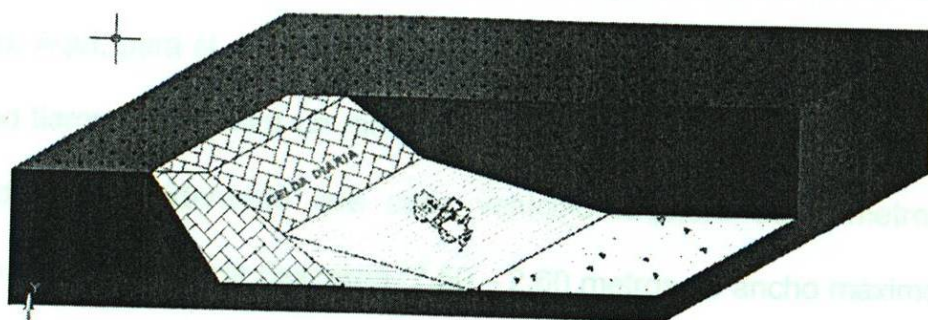
5.- DESCARGA DE LOS R.S. DEL DIA SIGUIENTE



6.- EMPUJE DE LOS R.S.



7.- COMPACTACION DE RESIDUOS SOLIDOS



8. CUBRIR CON TIERRA

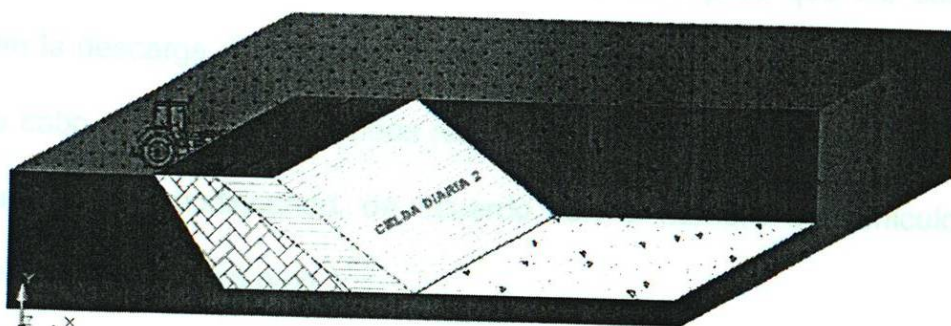


Figura 4.7. Secuencia de operación

4.5. Diseño del frente de trabajo.

El diseño de este frente se determina con base en el ingreso de los vehículos que lleguen al relleno sanitario durante las horas pico y en las dimensiones y características de estos vehículos. En este caso, se estima que al iniciar

operaciones el relleno sanitario, el ingreso de vehículos será mínimo; pero conforme pase el tiempo, se estima que el ingreso de vehículos vaya en aumento. Aquí, para el diseño del frente de trabajo se estimó que en este sitio, al mismo tiempo, se tendrá un máximo de 3 vehículos efectuando la descarga de residuos. Considerando que cada vehículo requiere de 4 metros para estacionarse y efectuar la descarga (2.50 – 2.60 metros de ancho máximo y una separación entre vehículos de 1 metro), se propone contar con un frente de trabajo de 12 metros de longitud.

Este frente de trabajo se considera suficiente, tanto para que los camiones efectúen la descarga de residuos, como para que la maquinaria encargada de llevar a cabo el empuje de residuos realice su trabajo sin problemas. El diseño del frente se irá modificando, de acuerdo con el número de vehículos que ingresen durante la hora pico.

4.6. Diseño de la celda diaria.

La celda diaria es la conformación geométrica que se le da a los residuos sólidos dispuestos y al material de cubierta, debidamente compactado mediante equipo mecánico. Dicho elemento es la unidad básica de construcción de un relleno sanitario, siendo un espacio específicamente definido, dentro del cual se confinan y compactan los residuos de un día de operación. Al conjunto de varias celdas adyacentes de la misma altura, se les denomina “franja” y al

conjunto de franjas, "capas". Asimismo, las dimensiones y volumen de las celdas dependerán del área total del relleno, del volumen diario de residuos por recibir, del equipo empleado y del material de cubierta. La configuración de la celda diaria se presenta en la figura 4.8.

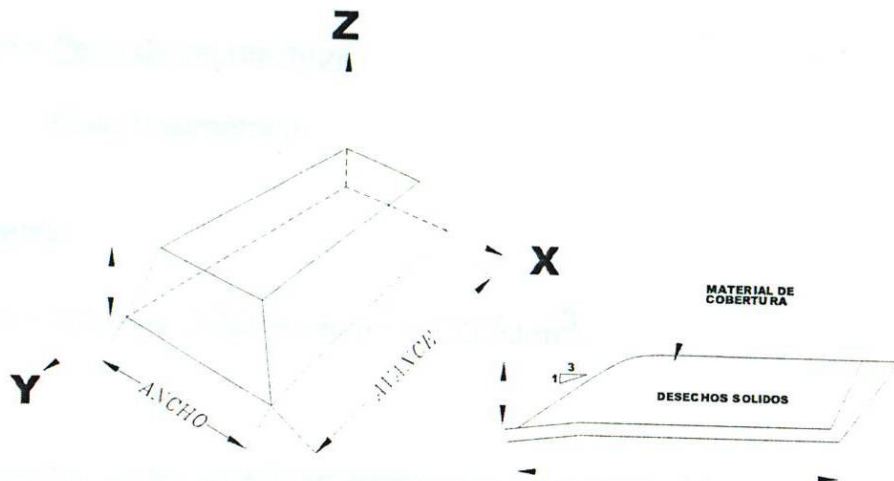


Figura 4.8. Configuración de la celda diaria.

El diseño de la celda diaria se efectúa considerando que ésta tendrá la forma de una pirámide truncada, la cual tendrá una altura de 3.5 metros (3.20 metros de residuos y 0.30 metros de cobertura, un largo de 12 metros, el cual es el frente de trabajo estimado y taludes con una pendiente de 3:1. Para el diseño de la celda diaria se consideró que al sitio ingresarán una cantidad diaria de 100 toneladas y que la compactación que se alcanzará tendrá un peso volumétrico de 750 kgs/m^3 .

Es importante mencionar que las dimensiones de la celda diaria están en función de la cantidad de residuos a depositar, lo cual está sujeto al ingreso

esperado. A continuación se presenta el diseño de la celda, considerando un ingreso diario de 100 toneladas.

Determinando el volumen que tendrá la celda se tiene que:

$$\text{Volumen} = \frac{\text{Peso de los residuos}}{\text{Peso Volumétrico}}$$

Sustituyendo:

$$\text{Volumen} = 100 \text{ tons.} / 0.750 \text{ tons/m}^3 = 133.33 \text{ m}^3.$$

Con el volumen determinado anteriormente, se calcula el área:

$$\text{Área} = 133.33 \text{ m}^3 / 3.20 \text{ m} = 41.66 \text{ m}^2.$$

Finalmente se calcula el ancho de la celda:

$$\text{Ancho} = \text{Área} / \text{frente de trabajo} = 41.66 \text{ m}^2 / 12 \text{ m} = 3.47 \text{ m}.$$

Por lo tanto la celda diaria tendrá las siguientes dimensiones:

- Volumen = 133.33 m³.
- Altura = 3.20 m.
- Ancho = 3.47 m.
- Frente de trabajo = 12 m.

En la tabla 4.3, se presentan los volúmenes anuales y las dimensiones (en metros) que tendrá la celda diaria del año 2005 al año 2035, en donde se consideró un incremento anual del 15% con respecto al año anterior y en la figura No. 4.9, se muestra gráficamente la longitud del frente de trabajo (ancho de la celda) y el avance de la celda diaria (largo) durante el periodo de tiempo ya señalado.

AÑO	GENERACIÓN TOTAL (tons/día)	VOLUMEN RESIDUOS (m3/día)	VOLUMEN ANUAL RESIDUOS (m3/año)	ÁREA	FRENTE DE TRABAJO	AVANCE DIARIO
2005	100.00	133.33	48666.67	41.67	12.00	3.47
2006	115.00	153.33	55966.67	47.92	12.00	3.99
2007	132.25	176.33	64361.67	55.10	12.00	4.59
2008	152.09	202.78	74015.92	63.37	15.00	4.22
2009	174.90	233.20	85118.30	72.88	15.00	4.86
2010	201.14	268.18	97886.05	83.81	15.00	5.59
2011	231.31	308.41	112568.96	96.38	18.00	5.35
2012	266.00	354.67	129454.30	110.83	18.00	6.16
2013	305.90	407.87	148872.45	127.46	18.00	7.08
2014	351.79	469.05	171203.31	146.58	21.00	6.98
2015	404.56	539.41	196883.81	168.56	21.00	8.03
2016	465.24	620.32	226416.38	193.85	21.00	9.23
2017	535.03	713.37	260378.84	222.93	24.00	9.29
2018	615.28	820.37	299435.66	256.37	24.00	10.68
2019	707.57	943.43	344351.01	294.82	24.00	12.28
2020	813.71	1084.94	396003.67	339.04	27.00	12.56
2021	935.76	1247.68	455404.22	389.90	27.00	14.44
2022	1076.13	1434.84	523714.85	448.39	27.00	16.61
2023	1237.55	1650.06	602272.08	515.64	30.00	17.19
2024	1423.18	1897.57	692612.89	592.99	30.00	19.77
2025	1636.65	2182.20	796504.82	681.94	30.00	22.73
2026	1882.15	2509.54	915980.54	784.23	33.00	23.76
2027	2164.47	2885.97	1053377.62	901.86	33.00	27.33
2028	2489.15	3318.86	1211384.27	1037.14	33.00	31.43
2029	2862.52	3816.69	1393091.91	1192.72	36.00	33.13
2030	3291.90	4389.19	1602055.69	1371.62	36.00	38.10
2031	3785.68	5047.57	1842364.05	1577.37	36.00	43.82
2032	4353.53	5804.71	2118718.66	1813.97	36.00	50.39
2033	5006.56	6675.41	2436526.45	2086.07	36.00	57.95
2034	5757.55	7676.73	2802005.42	2398.98	36.00	66.64
2035	6621.18	8828.24	3222306.24	2758.82	36.00	76.63

Tabla No. 4.3. Dimensiones de la celda diaria en metros.

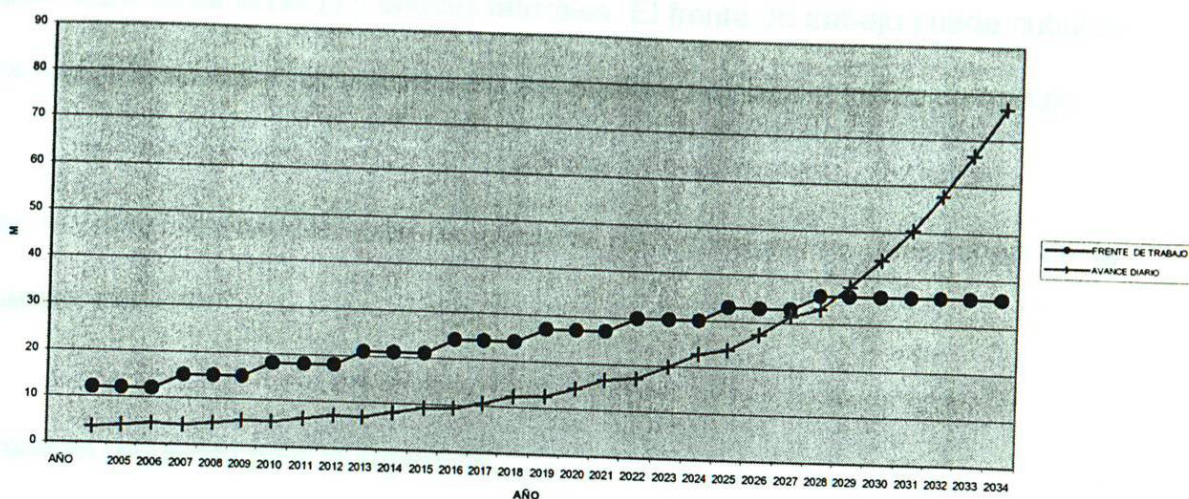


Figura 4.9. Variaciones de las dimensiones de la celda diaria en metros.

4.7. Necesidades de material de cobertura.

La estimación del material de cubierta que se necesita para cada día de operación y para la totalidad de la vida útil del relleno sanitario es indispensable porque proporciona una idea bastante confiable de los requerimientos de extracción de material. En este caso, y de acuerdo con el estudio de mecánica de suelos, el material que se encuentra en el sitio puede utilizarse para la cobertura de los residuos, por lo que el material excavado para la construcción de las trincheras será utilizado como material de cobertura.

Conociendo las dimensiones de la celda diaria, se procedió a calcular las necesidades del material de cobertura, proponiendo un espesor promedio de 0.30 m. Por razones económicas se recomienda cubrir diariamente sólo la

parte superior de la celda y taludes laterales. El frente de trabajo puede cubrirse sólo cuando se concluya una franja o se requiera cambiar el frente de trabajo.

Por lo tanto, las necesidades de material de cobertura se determinan de la manera siguiente:

Volumen requerido para la superficie.

$$3.47 \text{ m} \times 12 \text{ m} \times 0.30 \text{ m} = 12.5 \text{ m}^3 / \text{día}$$

Volumen requerido para los taludes

$$3.47 \text{ m} \times 9.60 \text{ m} \times 0.30 \text{ m} \times 2 = 19.98 \text{ m}^3 / \text{día}.$$

$$\text{Volumen total diario} = 32.5 \text{ m}^3.$$

Considerando la vida útil del relleno sanitario (la cual se presentará en los incisos posteriores), se estima que se requerirán 1'798,328.24 m³ de material para la cobertura de los residuos. Por otra parte, en la tabla No. 4.4, se presenta el volumen de excavación que se tendrá en cada una de las celdas, obteniéndose un volumen total de excavación de 1'890,058.66 m³, por lo que se tendrán 91,730.42 m³ sobrantes, que se pueden utilizar para el mantenimiento de los caminos de acceso y de las celdas que sufran agrietamientos y erosiones. En la tabla No. 4.5, se presentan los volúmenes de material de cobertura requeridos durante la vida útil del relleno sanitario.

ZONA "A"			ZONA "B"			ZONA "B"		
CELDA	ÁREA (M2)	VOLUMEN (M3)	CELDA	ÁREA (M2)	VOLUMEN (M3)	CELDA	ÁREA (M2)	VOLUMEN (M3)
1	28934.07	41954.40	1	23909.80	34669.20	25	23214.89	33661.60
2	30180.10	43761.15	2	21428.15	31070.82	26	21835.10	31660.90
3	18806.75	27269.78	3	21147.25	30663.51	27	21519.75	31203.64
4	13790.87	19996.77	4	26474.67	38388.27	28	21519.75	31203.64
5	18302.69	26538.91	5	26605.11	38577.41	29	21519.75	31203.64
6	14201.50	20592.18	6	31886.44	46235.34	30	21519.75	31203.64
7	17317.45	25110.30	7	23939.53	34712.33	31	22688.43	32898.23
8	14203.46	20595.02	8	21049.47	30521.73	32	21835.10	31660.90
9	15727.29	22804.57	9	23813.39	34529.42	33	21519.75	31203.64
10	13739.30	19921.99	10	23813.39	34529.42	34	21519.75	31203.64
11	15767.59	22863.00	11	29271.25	42443.32	35	21519.75	31203.64
12	14663.66	21262.31	12	29271.25	42443.32	36	21519.75	31203.64
SUBTOTAL	215634.73	312670.36	13	24290.96	35221.89	37	22138.83	32101.31
VOLUMEN TOTAL (M3)			14	21835.10	31660.90	38	21835.10	31660.90
1890058.66			15	21519.75	31203.64	39	21519.75	31203.64
			16	21519.75	31203.64	40	21519.75	31203.64
			17	21519.75	31203.64	41	21576.66	31286.16
			18	21519.75	31203.64	42	21576.66	31286.16
			19	23764.50	34458.52	43	21612.37	31337.94
			20	21835.10	31660.90	44	21841.79	31670.59
			21	21519.75	31203.64	45	21526.16	31212.93
			22	21519.75	31203.64	46	21523.19	31208.62
			23	21549.75	31247.14	47	21465.83	31125.46
			24	21519.75	31203.64	48	21463.03	31121.39
			SUBTOTAL	566523.36	821458.86	SUBTOTAL	521330.64	755929.43

Tabla No. 4.4. Volumen de excavación en m³.

AÑO	GENERACIÓN TOTAL (tons/día)	ÁREA	FRENTE DE TRABAJO	AVANCE DIARIO	VOLUMEN DE MATERIAL PARA COBERTURA			VOLUMEN TOTAL DIARIO (m3)	VOLUMEN ANUAL MATERIAL CUBIERTA (m3/año)	VOLUMEN ACUMULADO MATERIAL CUBIERTA (M3)
					CAPA SUPERIOR	TALUDES	TOTAL			
2005	100.00	41.67	12.00	3.47	12.50	10.00	22.50	155.83	8212.50	8212.50
2006	115.00	47.92	12.00	3.99	14.38	11.50	25.88	179.21	9444.38	17656.88
2007	132.25	55.10	12.00	4.59	16.53	13.23	29.76	206.09	10861.03	28517.91
2008	152.09	63.37	15.00	4.22	19.01	12.17	31.18	233.96	11379.95	39897.85
2009	174.90	72.88	15.00	4.86	21.86	13.99	35.85	269.06	13086.94	52984.79
2010	201.14	83.81	15.00	5.59	25.14	16.09	41.23	309.41	15049.98	68034.77
2011	231.31	96.38	18.00	5.35	28.91	15.42	44.33	352.74	16181.79	84216.56
2012	266.00	110.83	18.00	6.16	33.25	17.73	50.98	405.65	18609.06	102825.62
2013	305.90	127.46	18.00	7.08	38.24	20.39	58.63	466.50	21400.41	124226.03
2014	351.79	146.58	21.00	6.98	43.97	20.10	64.08	533.13	23387.60	147613.63
2015	404.56	168.56	21.00	8.03	50.57	23.12	73.69	613.09	26895.73	174509.36
2016	465.24	193.85	21.00	9.23	58.15	26.59	84.74	705.06	30930.09	205439.46
2017	535.03	222.93	24.00	9.29	66.88	26.75	93.63	807.00	34174.72	239614.18
2018	615.28	256.37	24.00	10.68	76.91	30.76	107.67	928.05	39300.93	278915.11
2019	707.57	294.82	24.00	12.28	88.45	35.38	123.82	1067.25	45196.07	324111.18
2020	813.71	339.04	27.00	12.56	101.71	36.16	137.88	1222.82	50325.47	374436.65
2021	935.76	389.90	27.00	14.44	116.97	41.59	158.56	1406.24	57874.29	432310.93
2022	1076.13	448.39	27.00	16.61	134.52	47.83	182.34	1617.18	66555.43	498866.36
2023	1237.55	515.64	30.00	17.19	154.69	49.50	204.19	1854.26	74531.17	573397.53
2024	1423.18	592.99	30.00	19.77	177.90	56.93	234.82	2132.39	85710.84	659108.37
2025	1636.65	681.94	30.00	22.73	204.58	65.47	270.05	2452.25	98567.47	757675.85
2026	1882.15	784.23	33.00	23.76	235.27	68.44	303.71	2813.25	110854.46	868530.31
2027	2164.47	901.86	33.00	27.33	270.56	78.71	349.27	3235.23	127482.63	996012.94
2028	2489.15	1037.14	33.00	31.43	311.14	90.51	401.66	3720.52	146605.03	1142617.97
2029	2862.52	1192.72	36.00	33.13	357.81	95.42	453.23	4269.92	165429.66	1308047.63
2030	3291.90	1371.62	36.00	38.10	411.49	109.73	521.22	4910.41	190244.11	1498291.75
2031	3785.68	1577.37	36.00	43.82	473.21	126.19	599.40	5646.97	218780.73	1717072.48
2032	4353.53	1813.97	36.00	50.39	544.19	145.12	689.31	6494.02	81255.76	1798328.24

Tabla No. 4.5. Necesidades del material de cobertura en m³.

4.8. Establecimiento del nivel de desplante.

Tomando en cuenta el estudio de mecánica de suelos, las trincheras pueden construirse con diferentes profundidades, considerando las restricciones siguientes:

- Si la excavación es igual o menor que 4 metros, los taludes pueden construirse verticales.
- Si la profundidad es de 4 a 7 metros, se recomienda una pendiente mínima de 1:0.5 con una altura de un primer talud de 3 metros, seguido de una berma de 3 metros y, posteriormente, otro talud de 4 metros.

Figura No. 4.10.



La sección deberá contar con una berma de 3.0 m, mínimo, para garantizar la seguridad de la excavación.

Figura 4.10. Sección de taludes para una profundidad máxima de 7 metros.

Tomando en cuenta el método de operación propuesto, la cantidad de material de cobertura requerida, la estabilidad de los taludes y la capacidad de carga del sitio, se decidió que el nivel de desplante en cada trinchera no fuera mayor que los 4 metros; pero, para mayor seguridad, se decidió que las trincheras tuvieran como profundidad máxima 4 metros, con taludes de 1:0.5. En los planos Nos. 03_Preparación del terreno (planta); 04_Preparación de terreno (perfiles longitudinales 1); 05_Preparación de terreno (perfiles longitudinales 2); 06_Preparación de terreno (perfiles transversales 3) y 07_Preparación de terreno (perfiles transversales 4); se presentan los niveles de desplante de cada una de las celdas que conforman este relleno sanitario.

4.9. Construcción de celdas o trincheras.

Para facilitar la identificación de las celdas al predio en donde se construirá el relleno sanitario, se le dividió en dos zonas A y B; las cuales se encuentran divididas por un camino de acceso. La zona A es la que se ubica en la parte sur y consta de 361,586.75 m²; la zona B se encuentra en la parte norte del terreno y cuenta con 1'212,224.59 m². Cada una de estas zonas se dividió en macroceldas, que a su vez también se subdividieron en celdas.

La zona A se dividió en 6 macroceldas y cada una de estas se subdividió en 2 celdas, por lo que en total se tienen en esta zona 12 celdas. La zona B se

dividió en 12 macroceldas, y cada una de éstas se dividió en 4 celdas, por lo que esta zona consta de 48 celdas o trincheras. Es importante señalar que en la zona A se consideró un área especial para que en el futuro, si los volúmenes de ingreso y la composición de los residuos lo permiten, se pueda llevar a cabo algún tratamiento (recuperación de subproductos, incineración o fabricación de composta) para los residuos sólidos. En la figura 4.11, se presentan las celdas que conforman cada una de las dos zonas anteriormente mencionadas.

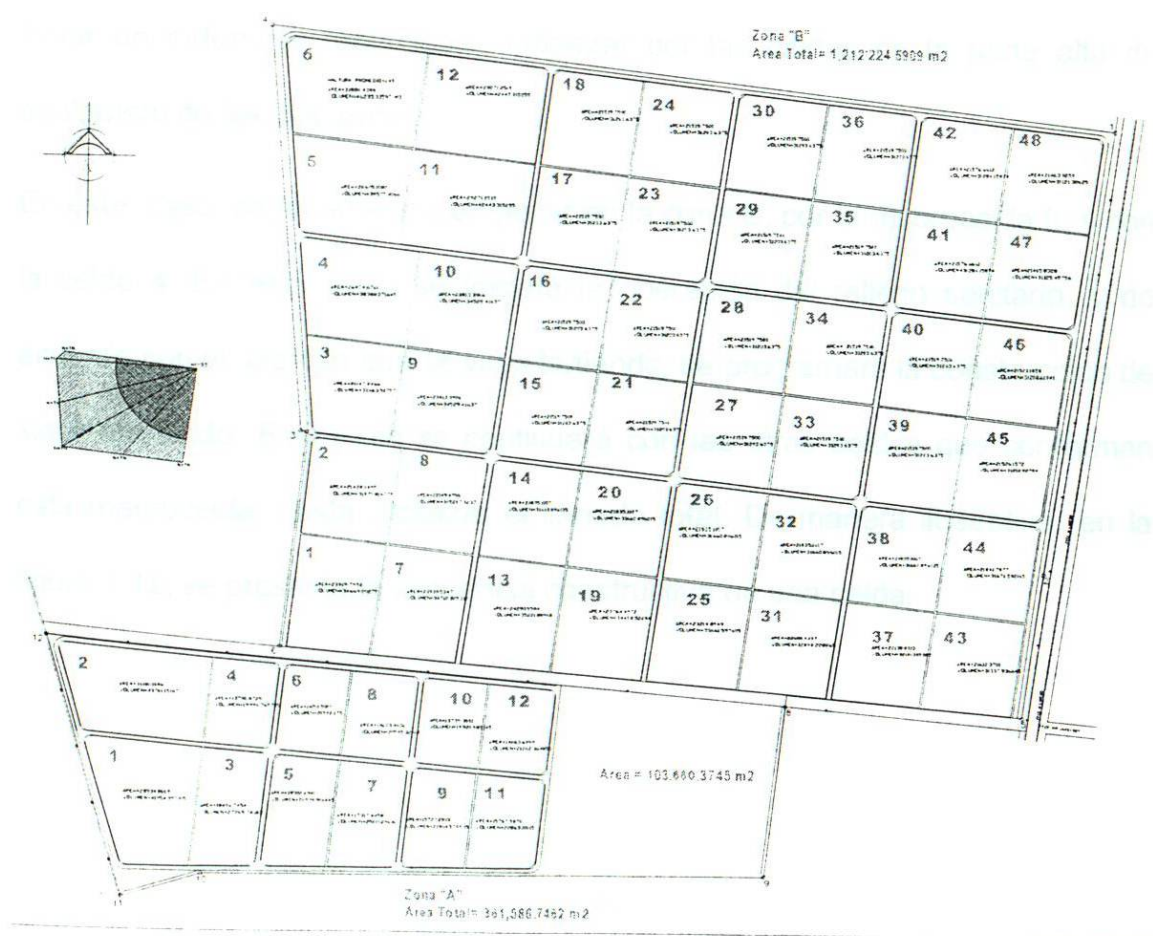


Figura 4.11. Zonas y celdas que conforman el relleno sanitario.

De acuerdo con la topografía del sitio, las celdas o trincheras se excavarán en forma de terrazas, haciendo los cortes de arriba hacia abajo y de este a oeste, dando taludes verticales o de 1:0.5, según corresponda, y pendientes en las bases de las trincheras del 1 al 2%.

La construcción de las celdas se llevará a cabo de acuerdo con el orden asignado a cada una de ellas. Asimismo, se resalta que debido al diseño modular del relleno sanitario, la construcción y operación de las celdas puede llevarse a cabo en cualquier celda de las dos zonas, sin que se afecte ninguna actividad, y sin realizar modificaciones al proyecto ejecutivo. Sin embargo, para llevar un orden, se recomienda empezar por las celdas de la parte alta de cualquiera de las dos zonas.

En este caso, se recomienda empezar en la zona B, por la macrocelda II, y con la celda 4. En esta celda se iniciará la operación del relleno sanitario, y de acuerdo con el ingreso que se vaya teniendo, se programará la construcción de siguiente celda. Este paso se continuará con las otras celdas que conforman esta macrocelda, hasta alcanzar el llenado total. De manera ilustrativa, en la figura 4.12, se presenta la secuencia constructiva de una celda.

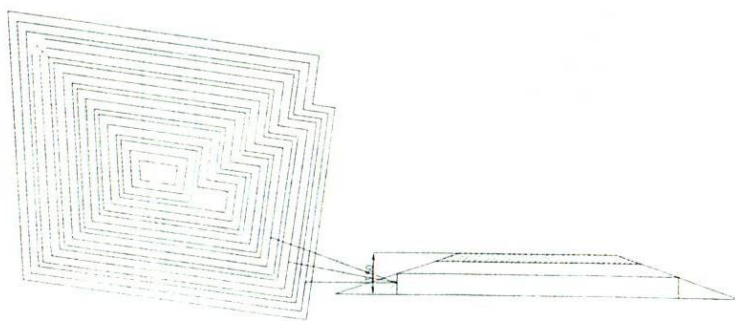


Figura 4.12. Método constructivo y de llenado de una celda.

Posteriormente se unirán las cuatro celdas hasta alcanzar la altura de proyecto propuesto para esta macrocelda. Figura 4.13.

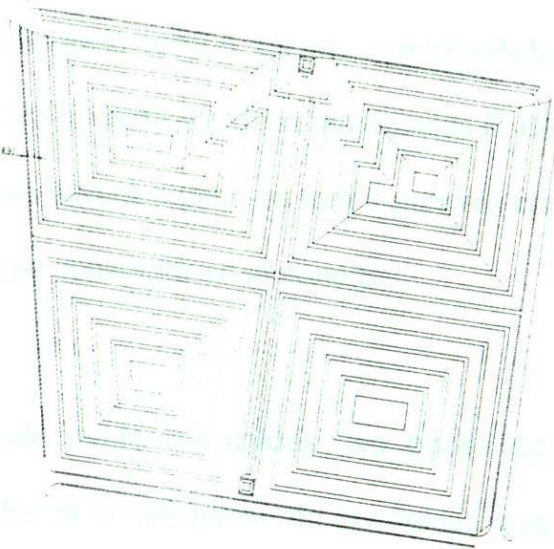


Figura 4.13. Llenado de las 4 celdas que conforman una macrocelda.

Los pasos descritos anteriormente, se llevarán a cabo en cada una de las macroceldas que conforman las dos zonas del relleno sanitario; por lo que, al final el relleno sanitario quedará con la configuración final, que se presenta en la figura 4.14.

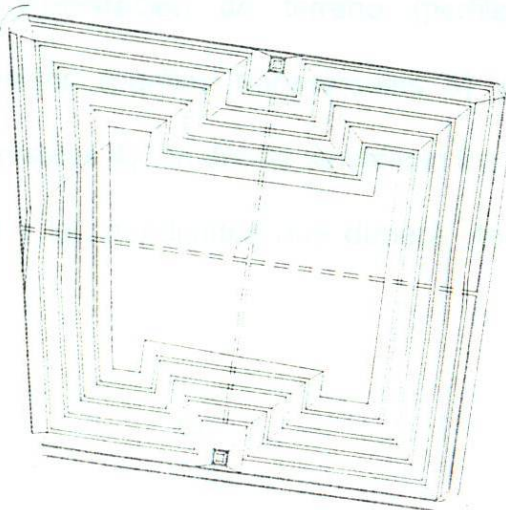


Figura 4.14. Llenado de una macro celda

Como ya se mencionó anteriormente, la construcción se llevará a cabo primeramente en la zona B. Posteriormente se continuará con la construcción y operación de las celdas de la zona A. Es importante señalar que, como celda de emergencia, se utilizará la celda 12, de la macrocelda 6, de la zona A; por lo que su construcción se llevará a cabo en forma paralela con la construcción de la primera celda que se construirá en la zona B.

En la construcción de todas las celdas, las bases se nivelarán dando la pendiente señalada hacia las esquinas de las celdas que tengan el nivel más bajo de la trinchera, lo cual servirá para el desalojo de los lixiviados. La base debe estar compactada al 85 - 90 % Proctor Estándar, teniendo cuidado de quitar las piedras salientes. Siguiendo este mismo método, se construirán las celdas subsecuentes, las cuales se presentan en los planos Nos: 03_Preparación del terreno (planta), 04_Preparación de terreno (perfiles longitudinales 1), 05_Preparación de terreno (perfiles longitudinales 2), 06_Preparación de terreno (perfiles transversales 3) y 07_Preparación de terreno (perfiles transversales 4), en donde se indican los niveles de desplante, los cortes, los taludes y las pendientes que deberá tener cada una de las celdas.

4.10. Preparación del sitio.

Una vez definido el nivel de desplante, es necesario realizar algunas operaciones en el terreno para lograr las pendientes necesarias. Debido a la topografía del terreno, con una superficie muy extensa y una pendiente natural mínima (casi plana), se decidió que para la construcción del relleno sanitario, se diseñaran celdas que tuvieran una vida útil de entre 1 y 2 años. Con esta premisa el relleno se dividió en dos zonas A y B, actualmente separadas por el camino de acceso. La zona A, con una superficie de 36.1586 has, se dividió en 6 macroceldas, formadas cada una por dos celdas. El área de las macroceldas es de 25.790 has, incluido el camino perimetral y la zona de amortiguamiento; mientras que el área administrativa tiene un área de 10.368 has, en donde se construirán: la caseta de inspección y vigilancia, las oficinas, la báscula, el área de estacionamiento, los baños, los sanitarios y el taller. Se cuenta también con un área en donde, de acuerdo con las cantidades y composición de los residuos que ingresen en el futuro, servirá para la construcción de otras instalaciones para el tratamiento y recuperación de subproductos (recuperación y reciclado de subproductos con valor comercial y/o compostaje).

La zona B cuenta con una superficie total (incluye caminos perimetrales e interiores, zona de amortiguamiento y lagunas de lixiviados) de 121.222 has; se dividió en 12 macroceldas; las cuales, a su vez, se dividieron en 4 celdas.

En todos los casos, las celdas se construirán una por una y de manera

individual. Cuando el llenado de una celda se aproxime a la mitad de su vida útil, se debe iniciar la construcción de la siguiente celda. Se estima que la construcción de cada celda se lleve a cabo en tres meses aproximadamente, con la finalidad de que cuando concluya su vida útil, la celda subsiguiente se encuentre ya construida y lista para recibir los residuos sólidos.

La construcción de las celdas se puede llevar a cabo de acuerdo con el orden asignado a cada una de ellas, iniciando en la zona B, macrocelda 1 y celda 1. Primero se llenará la celda uno, posteriormente la celda 2, luego la celda 7 y se termina con la celda 8, para finalmente con esta cuatro celdas llenas, iniciar la conformación final de la macrocelda 1. Es importante señalar que de acuerdo con el diseño de este relleno sanitario, en donde cada una de las macroceldas son independientes, la construcción y operación de las celdas se puede llevar a cabo en cualquier orden; pero, de preferencia, se debe construir y operar de la zona alta a la zona baja en cualquiera de las dos zonas A y B.

Una vez que las celdas que conforman la macrocelda se llenen, las 4 ó 2 celdas (según la zona) se unirán, por lo que las bermas y caminos interiores desaparecerán, para formar una sola celda o macrocelda. Figura 4.14.

Es importante señalar que cada dos celdas tendrán una laguna de evaporación, (cada macrocelda constará de 2 lagunas de lixiviados) que servirán para almacenar los lixiviados que se generan principalmente en la época de lluvias y que se producen cuando el agua de lluvia entra en contacto con los residuos

que no se han cubierto en el frente de trabajo.

La preparación del terreno para la construcción de cada celda y las obras complementarias, iniciará primero con el desmonte y despalme y posteriormente se continuará con la excavación y la nivelación del terreno.

El desmonte y despalme consistirá en quitar la vegetación (árboles, arbustos y matorrales) y la capa de suelo (aproximadamente de 0.20 a 0.60 m de espesor), de las zonas en donde se desplantarán las obras. En el área de amortiguamiento (zona perimetral) se mantendrá intacta la vegetación la cual servirá como barrera de amortiguamiento. Para el desmonte, despalme y excavación, es necesario contar con tractores de cadenas que cuenten con ríper, lo cual facilita la realización de estos trabajos. La nivelación debe llevarse a cabo mediante el empleo de una motoniveladora; mientras que la compactación de la base debe efectuarse con un vibrocompactador.

4.11. Vida útil.

Para determinar la vida útil, se consideró el volumen total con que cuenta cada una de las macroceldas del relleno sanitario, en donde se incluyen el volumen de excavación (método de trinchera) y el volumen de llenado a partir del nivel de terreno natural hacia arriba, (método de área), figura Nos. 4.4 y 4.5; el volumen total de residuos sólidos que se estima llegarán a este sitio y el material requerido para su cobertura. Por lo anterior, si la proyección de

generación de residuos sólidos, llegara a ser tal como se estimó en este proyecto, con un ingreso anual, en el primer año, de 100 toneladas al día y en los años siguientes el ingreso aumentará linealmente un 15% con respecto al año anterior, la vida útil del relleno sanitario será de 29 años con 118 días. En la tabla No. 4.6, se presenta la determinación de la vida útil del relleno sanitario considerando los parámetros anteriormente citados.

AÑO	GENERACIÓN TOTAL (tons/día)	VOLUMEN TOTAL ANUAL (m3)	VOLUMEN ANUAL ACUMULADO (m3)	VOLUMEN TOTAL DISPONIBLE (m3)	VOLUMEN TOTAL RESTANTE (m3)	VIDA ÚTIL (Años)
2005	100.00	56879.17	56879.17	16030615.03	15973735.86	1
2006	115.00	65411.04	122290.21	15973735.86	15908324.82	2
2007	132.25	75222.70	197512.91	15908324.82	15833102.12	3
2008	152.09	85395.86	282908.77	15833102.12	15747706.26	4
2009	174.90	98205.24	381114.01	15747706.26	15649501.02	5
2010	201.14	112936.03	494050.04	15649501.02	15536564.99	6
2011	231.31	128750.74	622800.79	15536564.99	15407814.24	7
2012	266.00	148063.36	770864.14	15407814.24	15259750.89	8
2013	305.90	170272.86	941137.01	15259750.89	15089478.02	9
2014	351.79	194590.91	1135727.91	15089478.02	14894887.12	10
2015	404.56	223779.54	1359507.46	14894887.12	14671107.57	11
2016	465.24	257346.48	1616853.93	14671107.57	14413761.10	12
2017	535.03	294553.56	1911407.50	14413761.10	14119207.53	13
2018	615.28	338736.60	2250144.09	14119207.53	13780470.94	14
2019	707.57	389547.08	2639691.17	13780470.94	13390923.86	15
2020	813.71	446329.13	3086020.31	13390923.86	12944594.72	16
2021	935.76	513278.50	3599298.81	12944594.72	12431316.22	17
2022	1076.13	590270.28	4189569.08	12431316.22	11841045.95	18
2023	1237.55	676803.24	4866372.33	11841045.95	11164242.70	19
2024	1423.18	778323.73	5644696.06	11164242.70	10385918.97	20
2025	1636.65	895072.29	6539768.35	10385918.97	9490846.68	21
2026	1882.15	1026835.01	7566603.36	9490846.68	8464011.67	22
2027	2164.47	1180860.26	8747463.62	8464011.67	7283151.41	23
2028	2489.15	1357989.30	10105452.91	7283151.41	5925162.12	24
2029	2862.52	1558521.57	11663974.48	5925162.12	4366640.55	25
2030	3291.90	1792299.81	13456274.29	4366640.55	2574340.74	26
2031	3785.68	2061144.78	15517419.07	2574340.74	513195.96	27
2032	4353.53	2199974.42	17717393.49	513195.96	0.00	118 DÍAS

Tabla No. 4.6. Determinación de la vida útil del relleno sanitario.

En la figura No. 4.15, se presentarán, gráficamente, el volumen anual acumulado de residuos sólidos, el volumen total anual disponible en el relleno sanitario y el volumen total restante que cada año va quedando.

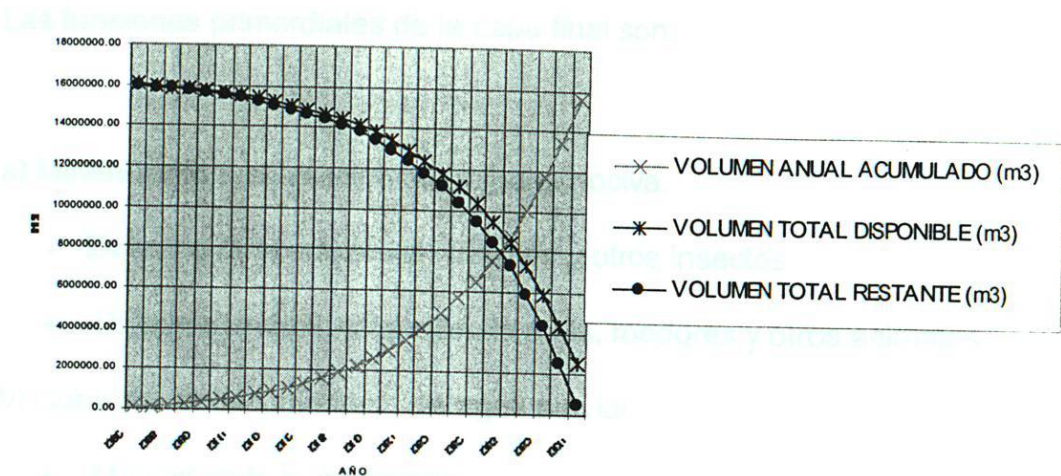


Figura 4.15. Gráfica de comparación de volúmenes

4.12. Superficie final del sitio.

De acuerdo con la experiencia que se ha tenido en sitios similares, se recomienda que la superficie final tenga un espesor de 0.50 a 0.60 metros del material arcilloso que existe en el sitio, bajo una capa de 0.30 metros de tierra lama vegetal, (o, en su caso, se puede emplear la capa de materia orgánica que se quitará al efectuarse el despalde) recomendándose sembrar pastos de bajo consumo de agua y, después de tres años, arbustos nativos de la zona. Esta superficie final tendrá una pendiente del 2%, que servirá para que el agua

pluvial escurra hacia los caminos interiores y de ahí se conduzca hasta la parte más baja del sitio para su desalojo. De acuerdo con el balance de agua presentado anteriormente en este capítulo, se estima que no habrá producción de lixiviados.

Las funciones primordiales de la capa final son:

a) Minimizar la proliferación de la fauna nociva.

- Evitando la aparición de moscas y otros insectos
- -Disminuyendo la atracción de aves, roedores y otros animales

b) Controlar el escurrimiento de agua pluvial.

- -Minimizando la infiltración
- -Disminuyendo la erosión

c) Controlar el flujo de biogás.

- -Dirigiendo el flujo hacia los pozos de captación
- -Facilitando el monitoreo de la calidad del biogás

d) Minimizar los posibles incendios.

- -Confinando los materiales propensos al fuego
- -Controlando y disminuyendo la entrada de oxígeno

e) Disminuir el impacto estético negativo al medio ambiente.

- -Evitando la dispersión de papel
- -Controlando los malos olores
- -Estableciendo una apariencia agradable del sitio

f) Operar adecuadamente durante la clausura de otras zonas

- -Facilitando el acceso y tránsito de vehículos
- -Garantizando la operación del relleno en época de lluvias
- -Creando zonas para la construcción de obras provisionales

g) Soportar la cubierta vegetal.

h) Minimizar la erosión por viento.

i) Funcionalidad en condiciones adversas del clima (lluvia, frío, etc.)

j) Asegurando la estabilidad de los taludes.

k) Evitando la saturación de los residuos sólidos.

En este caso se considera que la alternativa más indicada para el uso final del sitio será la combinación de zonas deportivas con áreas verdes, ya que la creación de estas zonas mejoraría el aspecto estético de la superficie final y, por otra parte, se dotaría de centros de recreación y esparcimiento a las poblaciones vecinas.

La creación de canchas deportivas debe esperar de 3 a 4 años, después de finalizar la vida útil, con la finalidad de dar tiempo a que ocurran los asentamientos diferenciales y se pueda dar el aplanado definitivo al terreno.

4.13. Generación de biogás.

Después de que los residuos sólidos han sido depositados en el relleno sanitario, se inicia una serie de procesos bioquímicos que en un tiempo determinado, dependiendo de la composición, la humedad y el pH, estabilizarán dichos residuos. Uno de los subproductos más importantes de esos procesos es el biogás.

Biogás es el término utilizado para llamar a una mezcla de gases compuesta principalmente por metano y dióxido de carbono, complementada con la presencia de óxido de nitrógeno y ácido sulfhídrico.

Los residuos sólidos de tipo municipal contienen un gran porcentaje de materia orgánica, el cual varía de país a país, de ciudad a ciudad e incluso dentro de los estratos socioeconómicos de una misma población.

Cuando los residuos sólidos son depositados en un sitio de disposición final, ocurre una descomposición aeróbica, durante un corto período, la cual termina cuando el aire atrapado en los residuos es consumido por la respiración de los microorganismos.

Cuando esto ocurre, los microorganismos anaerobios se convierten en dominantes y éstos degradan los compuestos orgánicos, principalmente los carbohidratos, para formar ácidos como el acético, propiónico y butírico. Esta producción de ácidos va acompañada por el desprendimiento de bióxido de carbono, hidrógeno y nitrógeno.

Después de que se agota el oxígeno, las bacterias metanogénicas se convierten en activas y descomponen los ácidos orgánicos en metano, dióxido de carbono y agua. Estas bacterias son estrictamente anaerobias, por lo que la presencia de oxígeno, aún en pequeñas cantidades, le resulta tóxica.

Los factores que influyen directamente en la producción de gas son:

- El tamaño y composición física de los residuos sólidos.
- La edad de los residuos sólidos.
- El contenido de humedad.
- La temperatura en el sitio de disposición final.
- La calidad y cantidad de los nutrientes.
- El pH de los líquidos en el relleno sanitario.
- El peso volumétrico alcanzado por los residuos sólidos.

Como ya se mencionó anteriormente, el biogás es una mezcla de gases cuyos principales componentes son el metano (CH_4) y el bióxido de carbono (CO_2); se produce por fermentación de la materia orgánica en ausencia de aire debido a la acción de microorganismos. En los rellenos sanitarios, este proceso anaerobio se realiza en cuatro etapas.

a) Etapa aerobia.- En ésta, los compuestos orgánicos complejos son transformados en compuestos más simples mediante una hidrólisis enzimática, realizada por microorganismos facultativos y aerobios. Puede durar de unos días a varios meses, dependiendo de la velocidad de la descomposición. Si los residuos tienen suficiente contenido de humedad, la descomposición aerobia despojará de oxígeno rápidamente a la parte profunda del relleno sanitario y el proceso entrará en la segunda etapa. El producto formado en mayor proporción es el CO_2 .

b) Etapa anaerobia no metanogénica.- En ella ocurre una fermentación ácida o conversión intracelular de los azúcares, péptidos, aminoácidos y otros compuestos, producto de la hidrólisis, dando como resultado una gran cantidad de compuestos, entre los que destacan los ácidos acético y propiónico.

c) Etapa anaerobia con producción acumulativa de metano.- Es en esta etapa cuando los ácidos orgánicos, producto de la fermentación ácida, son

transformados a gas metano y bióxido de carbono por un grupo de microorganismos comúnmente llamados metanogénicos, los cuales son estrictamente anaerobios y tienen un alto grado de especificidad en cuanto al sustrato que fermentan. Las bacterias productoras de metano son de la familia Methanobacteriaceae, la cual se divide en 4 géneros: Methanobacterium, Methanosarcina, Methanococcus, y Methanospirillum. La producción de metano adquiere un carácter francamente ascendente.

d) Etapa anaerobia de régimen permanente.- Se caracteriza por que en ella los porcentajes de CO_2 y CH_4 que constituyen al biogás no varían con el tiempo.

Por otro lado, la producción de biogás puede ser controlada por medio de la aplicación de diversas técnicas en la operación de los rellenos sanitarios, por ejemplo incrementando o disminuyendo el peso volumétrico en el sitio, dependiendo de la utilización posterior de los gases generados.

La disposición de residuos sólidos de la industria puede inhibir la descomposición metanogénica, por lo tanto se ha comprobado que el cloroformo tiene efectos directos que van en detrimento de la producción de metano y, por el contrario, agregar lodos orgánicos o residuos agrícolas incrementa la producción, al aumentar el contenido de humedad.

Se ha demostrado además que las tasas de producción de gas aumentan después de fuertes lluvias, al penetrar el agua en las masas de los residuos sólidos e incrementar el contenido de humedad. Aunque en función de la generación de gas esto puede resultar positivo, en cuanto a la producción de lixiviados, al aumentar, se presenta la probabilidad de contaminar los mantos freáticos con altas cargas de materia orgánica y catiónica.

Debido a lo anterior es muy común que se presenten en algunos sitios de disposición, incendios o explosiones, propiciados por la presencia de gas metano, principalmente cuando no se cuenta con un sistema efectivo para el control o la eliminación del mismo.

4.13.1. Componentes del biogás.

De acuerdo con análisis de laboratorio, se han determinado los siguientes componentes:

A). Metano 45-65% del volumen total.

Características:

- Incoloro.
- Más ligero que el aire.
- Baja solubilidad en agua.

- Altamente explosivo en concentraciones entre 5 - 15% por volumen en el aire.
- Una chispa o destello de una fuente de calor que exceda los 100 °F, puede originar una explosión.

B). Bióxido de Carbono 30-60% del volumen total.

Características:

- Incoloro.
- Más pesado que el aire.
- Altamente soluble en agua (forma soluciones de ácidos débiles corrosivos).
- No flamable.
- Potencialmente peligroso (una concentración de 10% de CO_2 en una atmósfera pura de oxígeno, puede causar un envenenamiento involuntario).

C). Trazas de Gases (fuente de olores, etc.)

- Nitrógeno <1 - 20%
- Ácido sulfhídrico - trazas
- Oxígeno y Argón trazas - 3%

- Etano, Etileno, Propileno, Propano y otros productos de digestión anaeróbica de la materia orgánica - trazas.

4.13.2. Método para la evaluación de la producción de biogás.

La estimación del volumen de biogás que se generará en el relleno sanitario PRODESA de Victoria Salinas, resulta difícil de calcular, debido a que actualmente se cuenta con métodos teóricos, que en ocasiones manejan constantes que han sido determinadas experimentalmente con residuos sólidos con características muy diferentes a los residuos que se generan en nuestro país.

Sin embargo, la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) ha llevado a cabo un Modelo Mexicano para el Biogás. Es un modelo muy simple de aplicar y que predice, con suficiente aproximación a la realidad, la cantidad de biogás generado en los rellenos sanitarios de nuestro país.

En la tabla No. 4.7, se presentan los resultados obtenidos después de la aplicación de este modelo y en la figura No. 4.16, se presenta la gráfica representativa del flujo de biogás con el 50% de recuperación del metano.

**PROYECCIONES DE GENERACION Y RECUPERACION DE BIOGÁS
SALINAS VICTORIA, NUEVO LEÓN**

Año	Indice de Disposición	Toneladas Acumuladas	Generación de Biogás			Eficiencia del Sistema de Recolección	Recuperación de Biogás del Sistema Existente/Planeado		
	(Ton/año)	(Ton)	(m ³ /min)	(m ³ /hr)	(G J/año)		(m ³ /min)	(m ³ /hr)	(G J/yr)
2005	48,667	48,667	0.0	0	0	100%	0.0	0	0
2006	55,967	104,633	0.7	44	7,332	100%	0.7	44	7,332
2007	64,362	168,995	1.6	93	15,406	100%	1.6	93	15,406
2008	74,016	243,011	2.5	147	24,350	100%	2.5	147	24,350
2009	85,118	328,129	3.5	208	34,313	100%	3.5	208	34,313
2010	97,886	426,015	4.6	275	45,463	100%	4.6	275	45,463
2011	112,568	538,583	5.9	351	57,992	100%	5.9	351	57,992
2012	129,454	668,037	7.3	437	72,123	100%	7.3	437	72,123
2013	148,872	816,909	8.9	533	88,107	100%	8.9	533	88,107
2014	171,203	988,112	10.7	643	106,238	100%	10.7	643	106,238
2015	196,883	1,184,995	12.8	768	126,849	100%	12.8	768	126,849
2016	226,416	1,411,411	15.2	910	150,323	100%	15.2	910	150,323
2017	260,378	1,671,789	17.9	1072	177,101	100%	17.9	1,072	177,101
2018	299,435	1,971,224	21.0	1258	207,690	100%	21.0	1,258	207,690
2019	344,351	2,315,575	24.5	1469	242,671	100%	24.5	1,469	242,671
2020	396,003	2,711,578	28.5	1712	282,713	100%	28.5	1,712	282,713
2021	455,404	3,166,982	33.2	1990	328,583	100%	33.2	1,990	328,583
2022	523,714	3,690,696	38.5	2308	381,165	100%	38.5	2,308	381,165
2023	602,272	4,292,968	44.6	2673	441,473	100%	44.6	2,673	441,473
2024	692,602	4,985,570	51.5	3092	510,675	100%	51.5	3,092	510,675
2025	796,504	5,782,074	59.6	3573	590,110	100%	59.6	3,573	590,110
2026	915,980	6,698,054	68.8	4125	681,324	100%	68.8	4,125	681,324
2027	1,053,377	7,751,431	79.3	4760	786,089	100%	79.3	4,760	786,089
2028	1,211,384	8,962,815	91.5	5489	906,443	100%	91.5	5,489	906,443
2029	1,393,091	10,355,906	105.4	6326	1,044,732	100%	105.4	6,326	1,044,732
2030	1,602,055	11,957,961	121.5	7288	1,203,650	100%	121.5	7,288	1,203,650
2031	1,842,364	13,800,325	139.9	8394	1,386,298	100%	139.9	8,394	1,386,298
2032	2,118,718	15,919,043	161.1	9665	1,596,242	100%	161.1	9,665	1,596,242

Tabla No. 4.7. Proyecciones de generación de biogás

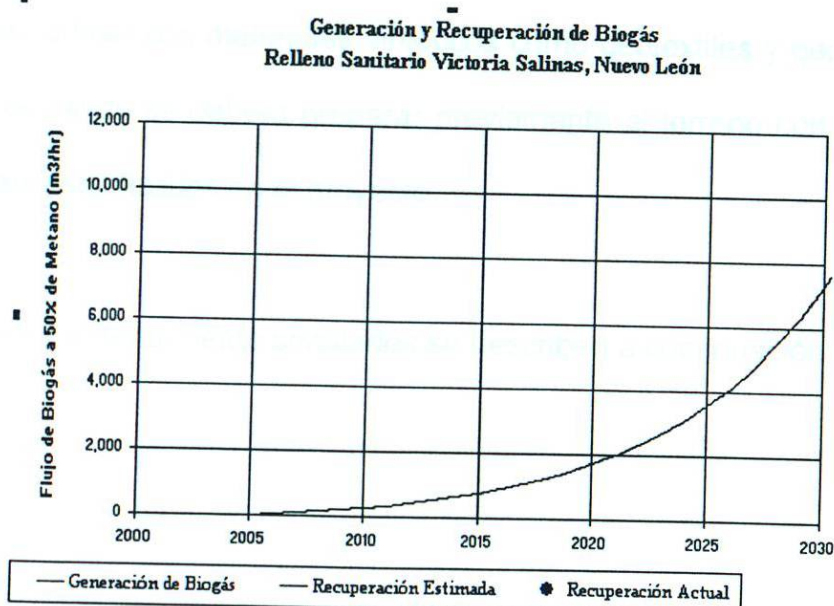


Figura No. 4.16. Grafica representativa del flujo de biogás.

Instrucciones:

El usuario tendrá que cambiar el Título de la gráfica manualmente. La gráfica necesita que el eje "x" sea modificado conforme al año de apertura y al año de clausura del relleno sanitario

5. OBRAS COMPLEMENTARIAS

5.1. Sistema de impermeabilización.

La impermeabilización de la superficie asignada para la disposición final de residuos sólidos es, dentro de las obras de infraestructura de un relleno sanitario, una de las de mayor trascendencia.

Su objetivo es evitar la migración de los gases y la infiltración del lixiviado hacia el subsuelo, permitiendo captar la totalidad de ellos, mediante la utilización de materiales de características impermeables naturales, como las arcillas coloidales, o bien con materiales sintéticos como geotextiles y geomembranas. En los dos casos se deberá preparar previamente el terreno con los niveles y pendientes establecidos en el proyecto.

Los métodos anteriormente señalados se describen a continuación:

5.1.1. Método natural

Consiste en aprovechar las propiedades físico - químicas del suelo en donde se construirá el relleno sanitario, por lo que se recomienda que los rellenos se ubiquen en terrenos con un alto contenido de arcillas, ya que este tipo de material prácticamente impermeabiliza cualquier infiltración de lixiviados hacia los mantos freáticos. La Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, señala que todos los sitios de disposición final deben contar con una barrera geológica natural o equivalente a un espesor de 1 metro y una permeabilidad de al menos 1×10^{-7} cm/seg

5.1.2. Método artificial.

Consiste en colocar materiales naturales o artificiales sobre el sitio en donde se construirá el relleno sanitario, con la finalidad de evitar la infiltración de lixiviados.

Cuando se coloca material natural, éste debe ser arcilla compactada con la humedad óptima en la base del terreno o la adición al terreno natural de una mezcla que permita cumplir la restricción señalada en la Norma Oficial. El tipo y cantidad de material a adicionar se deberá calcular tomando como base los análisis físico-químicos que se le practiquen al terreno natural y al material seleccionado. *En este caso, se recomienda impermeabilizar el relleno sanitario*

mediante el uso de una geomembrana sintética de polietileno de alta densidad (PAD) de 1 mm (40" de pulgada) de espesor.

5.1.3. Especificaciones para la colocación de la geomembrana.

La colocación de esta geomembrana debe llevarse a cabo tomando en cuenta las recomendaciones efectuadas en el estudio geotécnico y las que a continuación se describen:

- La geomembrana será de polietileno de alta densidad de 1 mm de espesor, y deberá reunir como mínimo los valores basados en los requerimientos mínimos establecidos por el "Standard Number 54" flexible mambrane liners; de la National Sanitation Foundation Listing Services.
- La superficie de la geomembrana de polietileno de alta densidad, deberá carecer de estrías, asperezas, perforaciones, burbujas o cualquier otro elemento extraño que pudiera afectar las propiedades de la misma.

- La geomembrana deberá proveerse en rollos. Cada rollo deberá tener etiquetas que identifiquen el espesor del material, la longitud y el ancho del rollo, el peso, el número de rollos y el nombre del fabricante.
- Los rollos de la geomembrana deberán ser empacados y transportados en condiciones apropiadas para evitar que la geomembrana se dañe.
- El almacenamiento del material deberá reunir las condiciones adecuadas para que los rollos queden protegidos contra pinchaduras, polvo, grasa, agua, abrasivos mecánicos, calor excesivo y otros daños. Los rollos serán almacenados en una superficie preparada y no deberán apilarse o amontonarse más de dos rollos.
- Con la finalidad de proteger la geomembrana, en los taludes de la celda (que es donde se presentan rugosidades), es necesario colocar bajo la geomembrana un geotextil.
- El geotextil es por lo general de polipropileno, no tejido, y debe ser de 150 a 200 grs/m².

5.1.4. Soldadura y/o termofusión de la geomembrana.

Dependiendo del método y la tecnología utilizados en la producción de geomembranas, éstas pueden presentar o no soldaduras o uniones (costuras) de fábrica. La mayoría de los distribuidores en la República Mexicana (no existen fabricantes en el nivel nacional), suministran la geomembrana en rollos sin soldaduras ni uniones.

Asimismo, las placas de geomembrana deben ser unidas en el campo, mediante algún método de soldadura o termofusión, aprobado para cumplir las condiciones de impermeabilidad requeridas.

Las pruebas de la soldadura o termofusión, deberán referirse con base en los siguientes criterios:

- El material de la soldadura deberá ser de las características de la geomembrana.
- El proceso de soldadura deberá ser por fusión con la cubierta.
- El tipo de soldadura deberá ser doble.

5.1.5. Pruebas.

Durante la colocación de la geomembrana, se realizarán ensayos de campo para verificar que las condiciones en las uniones son las recomendadas. Estas pruebas se harán tomándose muestras de los extremos de cada unión y a cada 10 pies de longitud. Por otro lado, se efectuarán pruebas no destructivas de las uniones a lo largo de todas ellas. La geomembrana deberá cumplir con las normas de calidad de los materiales utilizados para su fabricación. Los distribuidores deberán proporcionar toda la información necesaria sobre las características y propiedades físicas y químicas de la geomembrana.

5.1.6. Aspectos generales para su colocación.

- a. La superficie por impermeabilizar deberá cumplir las condiciones adecuadas para que la geomembrana se instale sin ningún problema. Deberá estar compactada al 85% proctor, libre de troncos, raíces, piedras y cualquier material punzocortante. En los taludes se deberá utilizar geotextil (geomalla) para proteger la geomembrana de las rugosidades e imperfecciones existentes.
- b. Se deberá contar con todo el equipo de construcción, instalación y materiales, mano de obra y herramientas necesarias para el fiel cumplimiento de los trabajos.
- c. La instalación de la geomembrana de polietileno de alta densidad deberá ser autorizado por el fabricante o distribuidor de ésta, quien asumirá la responsabilidad de la colocación.

5.1.7. Pruebas de campo para verificar las condiciones en las uniones de la geomembrana.

- a. Estas pruebas se efectúan en el inicio de cada rollo (unión), debiendo inspeccionar al menos cada 4 hrs. cada uno de los equipos de soldar, y la supervisión de la soldadura.

- b. Todas las pruebas para uniones se localizarán y seleccionarán por el inspector, así como el área de unión que estará en contacto con el talud.
- c. La muestra de soldadura será de 10 pies de largo para soldadura con zapata caliente y de 3 pies de largo para soldadura por extrusión, con la muestra centrada longitudinalmente.
- d. Se deberán cortar especímenes de una pulgada de ancho de cada extremo de la muestra, utilizando un tensómetro para las pruebas de resistencia a la unión y a la separación.

5.1.8. Pruebas no destructivas en las uniones.

El técnico que efectuará la colocación de la geomembrana, suministrará todo el equipo para llevar a cabo las pruebas no destructivas.

a) Pruebas con aire a presión.

Equipo.

- Un equipo de bombeo con manómetro montado en un amortiguador para proteger la geomembrana, capaz de generar y mantener una presión de entre 20 y 25 libras/pulg².
- Un manómetro equipado con una jeringa para generar la presión de proyecto.

El procedimiento para esta prueba es el siguiente:

1. Sellar ambos extremos unión para la prueba.
2. En el sellado, al final del canal, insertar la jeringa a presión.
3. Suministrar energía a la bomba de aire a presión, entre 20 y 25 libras/pulg², cerrando la válvula y manteniendo dicha presión durante 5 minutos.
4. Si la pérdida de presión excede de 4 libras/pulg², o no se estabiliza, localizar la falla y reparar.
5. Retirar la jeringa, probando la presión y, finalmente, sellar.

5.1.9. Pruebas destructivas en uniones.

El instalador proporcionará al inspector, como mínimo, una muestra en cada unión de rollos para la prueba destructiva.

a) Procedimiento de muestreo.

- 1.- El tiempo de muestreo y las localizaciones serán determinadas por el inspector.
- 2.- El inspector debe ser testigo de la obtención de todas las pruebas de campo, y el instalador marcará todas las muestras y enumerará las uniones.

- 3.- El instalador también anotará por escrito la fecha, el tiempo, la localización, el número de uniones y la temperatura ambiente.
- 4.- Una copia de la información debe fijarse a cada porción de muestra.
- 5.- Todas las perforaciones de la geomembrana, resultantes de la obtención del muestreo de las uniones, deberán ser reparadas inmediatamente.

b) Tamaño y disposición de las muestras.

- 1.- Las muestras de harán de 12 pulgadas de longitud y las uniones se centrarán longitudinalmente.
- 2.- Las muestras se dividirán en dos partes iguales, la mitad se dará al inspector y la otra al representante de la dependencia.

c) Pruebas de laboratorio de campo.

- 1.- El inspector cortará 10 muestras de una pulgada de ancho para probarlas.
- 2.- Probará 5 muestras por esfuerzo cortante y 5 por esfuerzo a la separación.

d) Pruebas de laboratorio independientes.

- 1.- El inspector empacará y enviará, como mínimo, dos muestras de costura (uniones), recibidas del instalador, a un laboratorio, para la determinación de la resistencia al corte y a la separación.

El anclaje de la geomembrana se llevará a cabo en cepas de 0.60 m x 0.60 m en todo el perímetro de las celdas o trincheras. En la figura No. 5.1 se puede observar la colocación y el anclaje de la geomembrana, mientras que en el plano No. 08, Impermeabilización y construcción de lagunas de lixiviados, se presentan los detalles constructivos para la colocación de la geomembrana.

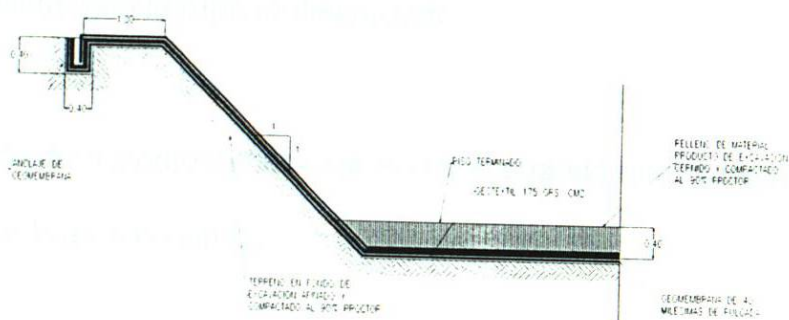


Figura 5.1. Colocación y anclaje de la geomembrana.

5.2. Sistema para el control del lixiviado.

De acuerdo con los valores encontrados con el método de balance de agua, no existirá percolación de lixiviados, lo cual parece ser un juicio muy arriesgado, ya que en las experiencias vividas en otros rellenos sanitarios, se observa siempre una producción de lixiviados, que en muchos de los casos se da por la falta de compactación en el material de cobertura, por la falta de mantenimiento de la misma o por el ingreso del agua pluvial en los residuos descubiertos del frente de trabajo. Por lo anterior, y con fines prácticos y de seguridad, se

- 2.- El método y el procedimiento de las pruebas utilizadas por el laboratorio deben ser las mismas que se usaron en las pruebas de campo, donde las muestras de uniones son de 1 pulgada de ancho y un promedio de tasa de separación de 2 pulg/min. Cuatro de cinco especímenes deberán pasar.

e) Procedimiento para la ruptura destructiva.

El siguiente procedimiento deberá ser aplicado cuando una muestra no pase la prueba destructiva en el campo.

- 1.- El instalador deberá recubrir con tiras la unión (costura) entre el lugar donde la prueba fracasó hasta el lugar donde sí pasó la prueba.
- 2.- El instalador puede repasar la trayectoria de la soldadura, hasta un lugar intermedio (a un mínimo de 10 pies desde el lugar donde la prueba fracasó), a la discreción del inspector y tomar una pequeña muestra para una prueba de campo adicional.
- 3.- Sobre la longitud de la falla de la unión, el contratista deberá cortar la unión o reponer el tramo y reunir o añadir una cubierta con tiras, como sea requerido por el inspector.

- 4.- Después de la colocación de una recubierta con tiras, se deberá llevar a cabo una prueba de campo destructiva adicional, dentro del área requerida.
- 5.- La muestra reunida será aceptable si los resultados son aprobados por el inspector.
- 6.- Si los resultados de la prueba no son aceptados, este proceso deberá repetirse hasta que la longitud reunida sea juzgada por el inspector como satisfactoria.
- 7.- En el caso de que una muestra falle una prueba destructiva de laboratorio, entonces los procedimientos anteriormente mencionados deberán ser realizados, considerando exclusivamente pruebas de laboratorio.
- 8.-El inspector registrará todas las acciones llevadas a cabo en conjunción con las pruebas a la ruptura destructiva.
- 9.-Las pruebas de la soldadura deberán referirse con base en los siguientes criterios:
 - El material de la soldadura deberá ser de las características de la geomembrana.
 - El proceso de soldadura deberá ser por fusión con la cubierta.
 - El tipo de soldadura deberá ser doble.

recomienda la construcción de lagunas de almacenamiento y evaporación (dos por cada macrocelda), de 8 m x 8 m con una profundidad de 2 a 3 m (164 – 192 m³ de capacidad) lo cual se considera suficiente para almacenar y evaporar los lixiviados que pudiesen llegar a producirse. En el plano No. 08, Impermeabilización y construcción de lagunas de lixiviados, se presentan los detalles constructivos de la fosa para almacenamiento y evaporación de lixiviados.

Actualmente, el tratamiento de lixiviados requiere de una tecnología especializada que resulta demasiado costosa, lo cual añadido con los gastos que se tienen en los sitios de disposición final, provoca un mayor encarecimiento. Por lo anterior, se recomienda para este caso, que los lixiviados que se generen se vuelvan a recircular dentro de este mismo sitio, el cual contará con un sistema de impermeabilización que evitará su infiltración al subsuelo. El procedimiento anterior garantiza el mantener encapsulado al lixiviado en un solo lugar, evitando su migración y que con el transcurrir del tiempo, por medio de la evaporación, se reduzca el volumen generado hasta un nivel en donde no represente riesgo alguno.

En este caso, el sistema de captación y conducción de lixiviados en cada celda consistirá en conducir los lixiviados, por gravedad, hasta la esquina de la celda con el nivel más bajo, en donde los lixiviados se captarán y mediante tubos de polietileno de alta densidad de 4" de diámetro serán conducidos hasta las lagunas de almacenamiento y evaporación, utilizando registros para su control y

separación de los lixiviados del agua pluvial. En el plano No. 08, Impermeabilización y construcción de lagunas de lixiviados, se presentan los detalles de captación y conducción de los lixiviados.

5.3. Sistema para el control del biogás.

Para el control del biogás en los sitios de disposición final, existen dos métodos: el control activo y el control pasivo.

El primer método, el control activo, debido a su alto costo, sólo es justificable cuando exista alto riesgo para poblaciones vecinas, o cuando se pretenda darle un aprovechamiento. El sistema de control pasivo es recomendable en lugares donde el riesgo de su migración sea mínimo y no se justifique una elevada inversión para su control.

La construcción de los sistemas pasivo y activo tienen la finalidad de manejar y controlar adecuadamente el movimiento del biogás que se genera en los sitios de disposición final, cuando éste ha llegado a su etapa final o bien cuando se tienen serios problemas para lograr su control en el sitio y/o existen riesgos a la población circundante.

El Sistema activo controla el movimiento del biogás mediante una presión negativa inducida (vacío), de tal modo que el gas es extraído del sitio de disposición final.

El sistema pasivo no es muy efectivo para la remoción de biogás, y cuando éste no es removido, puede provocar daños a la cubierta vegetal por efecto de los componentes del biogás sobre las raíces y el follaje y, por consiguiente, originar la erosión de la cubierta final del sitio.

La falla del sistema pasivo generalmente es atribuida a que la presión del biogás en los estratos de residuos es muy baja, y no pueden alcanzar los dispositivos de venteo. Otro problema de este sistema es que con la variación de alta a baja presión barométrica y viceversa se provoca la entrada de aire cuando la presión barométrica sube.

En lo que respecta a los sistemas de control activo, éstos utilizan la succión del gas con ayuda de un soplador, logrando con ello un control efectivo de la migración lateral. Asimismo, esta forma de extracción es ideal para el establecimiento de un sistema de aprovechamiento del biogás, principalmente como una fuente no convencional de energía.

El sistema más utilizado en nuestro país es el sistema pasivo, el cual está conformado por la construcción de pozos para el venteo del biogás, debido a que son más fáciles de construir y económicamente más baratos.

Éstos se construyen frecuentemente durante el depósito de los residuos sólidos en el sitio de disposición final, con el propósito de economizar en su construcción; sin embargo, durante las operaciones se corre el riesgo de que dichos pozos sean dañados y, por consiguiente, no sean confiables para el venteo de los gases, una vez que el sitio ha sido clausurado.

En este caso, se recomienda la construcción de estos pozos desde que se inicie la operación del relleno sanitario, pero teniendo un cuidado muy especial, para que no sean afectados durante el llenado de las celdas. En caso de no poderlos construir durante el llenado y operación de las celdas, la construcción se puede realizar cuando se alcance el nivel deseado y una vez que se ha logrado conformar el sello final del sitio, para lo cual se tendrá que utilizar equipo mecánico que realice la perforación de estos pozos.

La construcción de estos pozos al inicio de las operaciones se llevará a cabo de la siguiente manera:

Se desplantarán desde el nivel de piso, colocando un ademe, el cual puede ser un tambo metálico de 200 litros, perforado en toda su superficie. Éste se fijará al



Figura 5.2. Construcción de un pozo de venteo de biogás

El radio de influencia de los pozos de venteo normalmente depende del grado de compactación, del tipo de residuos sólidos (residuos de mercados, domésticos, de construcción etc.), de la profundidad del pozo y del flujo de salida. Ahora bien, hay que considerar que dentro de los estratos de residuos sólidos no existe una homogeneidad en cuanto a las características de estos residuos, así como en su acomodo. Esto origina que el cálculo para determinar la ubicación de los pozos de venteo sea difícil de llevar a cabo. Sin embargo, de acuerdo con recomendaciones dadas desde distintos manuales de diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios, se menciona una separación entre los pozos para venteo de biogás de entre 20 m y 50 m. En este caso, se propone que los pozos se construyan aproximadamente a cada 50 m, uno de otro, (2 por hectárea). En los planos Nos. 14 y 15, Distribución y localización de pozos de venteo y detalles de pozos, se presenta la ubicación y especificaciones para la construcción de los mismos, en donde se observa que cada pozo cuenta con un dispositivo para la quema del biogás.

5.4. Sistema de monitoreo ambiental.

Tomando en cuenta las características que prevalecerán en el relleno sanitario, en donde debido a los fenómenos físicos, químicos y biológicos que ocurrirán cuando sean confinados los residuos sólidos, será necesario vigilar los posibles riesgos ambientales que puedan ocurrir. La evaluación de una posible contaminación al medio ambiente se puede llevar a cabo instrumentando un

sistema de monitoreo ambiental, en donde se vigilarán y monitorearán el lixiviado y el biogás.

La descomposición de la materia orgánica contenida en los residuos sólidos depositados en los rellenos sanitarios, representa grandes riesgos, ya que ésta origina la producción de contaminantes potencialmente tóxicos (biogás y lixiviados) que al emigrar ocasionan un fuerte impacto hacia el medio ambiente (aire, suelo y subsuelo).

La migración de dichos contaminantes se debe principalmente a las características físico-químicas del suelo en donde se lleva a cabo la disposición; es decir, cuando el suelo presenta características permeables, así como la presencia de fallas como oquedades y fracturas en el subsuelo, lo cual facilita que los contaminantes fluyan y viajen descontroladamente hacia zonas aledañas al sitio.

Ante esta situación, se requiere implantar sistemas para el monitoreo y control de las posibles migraciones del biogás y lixiviados, para establecer las características cualitativas y cuantitativas de los residuos sólidos, con el objeto de prevenir y evaluar la contaminación originada por la disposición final.

5.4.1. Sistema de monitoreo de lixiviados y agua

subterránea.

5.4.2 Monitoreo de lixiviados.

Tomando en cuenta al análisis de balance de agua, que se realizó para el relleno sanitario PRODESA de Salinas Victoria, se estima que no habrá generación de lixiviados, debido a que en esta región del país las temperaturas son muy altas y las precipitaciones escasas. Sin embargo, como también ya se explicó, la generación de lixiviados durante la época de lluvias puede producirse, principalmente por el agua de lluvia que se mezcla con los residuos sólidos descubiertos del frente de trabajo. Ante esta situación y previendo que haya generación de lixiviados, será necesario que se tomen muestras de lixiviados como mínimo cada 6 meses, para conocer algunas características del lixiviado con el transcurso del tiempo.

Las pruebas que deben ser analizadas son las siguientes:

- Potencial de hidrógeno (pH)
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)
- Demanda química de oxígeno (DQO)
- Metales pesados.

5.4.3. Monitoreo de acuíferos.

Este monitoreo sirve para evaluar si el relleno sanitario actúa como una fuente de contaminación, y para con tiempo, corregir las fallas que lo originan. Es de suma importancia cuando existe un riesgo inminente de contaminación del agua subterránea.

Tomando en cuenta la geohidrología que prevalece en la zona donde se construirá el relleno sanitario y su ubicación geográfica, en donde se encuentra rodeado de otros rellenos sanitarios, es recomendable contar con un sistema para monitorear el agua subterránea, con la finalidad de no imputar a este sitio la probable contaminación de acuíferos de la zona, sin considerar antes la posible influencia de otras fuentes de contaminación.

Este sistema debe contar con tres pozos de monitoreo; ubicados, los dos primeros, antes del relleno sanitario en el lado suroeste (aguas arriba) y el tercero en la parte noreste, en la zona de amortiguamiento y después de las celdas (aguas abajo), siguiendo la dirección del flujo subterráneo. En el plano No. 13, Distribución y localización de pozos para venteo, monitoreo de biogás y aguas subterráneas, se presenta la ubicación de estos pozos. La profundidad del pozo debe ser, como mínimo, de dos metros abajo del nivel freático.

La frecuencia de muestreo se efectuará de acuerdo con los recursos económicos con que se cuente, pero nunca será menor que dos análisis por año. Los análisis recomendados para las muestras de agua son:

- ♦ DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno)
- ♦ DQO (Demanda Química de Oxígeno)
- ♦ SDT (Sólidos Disueltos Totales)
- ♦ Coliformes Totales y Fecales
- ♦ Nitrógeno
- ♦ pH
- ♦ Dureza

Se recomienda llevar a cabo análisis sobre metales pesados cuando menos una vez al año. Entre la toma de las muestras de agua y la llegada de estas al laboratorio no deben pasar más de 24 horas.

Los resultados de los análisis del laboratorio deben ser confrontados para evaluar la incidencia del relleno sanitario, desde el punto de vista de alteraciones en la calidad del agua freática.

5.4.4. Sistema para el monitoreo del biogás.

Como ya se ha mencionado anteriormente, el biogás se produce por la degradación de los materiales orgánicos. Este proceso ocurre por descomposición anaerobia, los dos principales gases formados son: metano (CH_4) y bióxido de carbono (CO_2).

El biogás se puede desplazar por el subsuelo e inclusive fuera del relleno sanitario. Si el gas se acumula dentro del relleno sanitario, puede ocasionar explosiones, por ello se construyen pozos para venteo en el interior del mismo, con el fin de evaluar la cantidad y composición del biogás que puede acumularse en dichas zonas no controladas. Tanto el CO_2 como el metano son gases generadores del efecto invernadero. Sin embargo, el biogás también puede migrar lateralmente, dependiendo del tipo de suelo y la impermeabilización que se tenga en el sitio.

Algunos factores importantes a considerar, dentro del monitoreo del biogás, son:

Desplazamiento del Biogás.

Es el movimiento del biogás dentro de los estratos del relleno sanitario y depende de:

- El espesor de los estratos y la edad de los residuos sólidos.
- La composición física de los residuos sólidos depositados.
- Las características de permeabilidad del terreno y del material de cubierta.
- Las características del suelo.
- El porcentaje de compactación de los residuos y del material de cubierta.
- Las características de permeabilidad del suelo adyacente al relleno sanitario.

Evaluación del suelo para detectar la presencia del biogás.

Es la migración del biogás hacia zonas no controladas y puede detectarse de la siguiente forma:

- Percibiendo su olor característico.
- Revisando fracturas o grietas de la cobertura, mediante un explosímetro.
- Observando incendios o desprendimiento de vapores en el relleno sanitario.
- Muestreando el sitio donde se sospeche que hay emigración de biogás.

El monitoreo de biogás se debe llevar a cabo, como ya se indicó, en el interior del relleno sanitario, mediante los pozos para venteo de biogás y, en el exterior del mismo, mediante los pozos de monitoreo.

Si bien es cierto que una cantidad importante de biogás logra eliminarse a través de los sistemas activos o pasivos de captación, también existe una migración tanto vertical como horizontal que depende de las condiciones de presión y temperatura en el ambiente, así como de las condiciones de la cobertura final en el sitio de disposición final y de la geología local

Normalmente, el biogás migra verticalmente, a través del sello final provisto en los rellenos sanitarios y/o en los límites del mismo en cantidades mínimas, siempre y cuando no existan fracturas importantes en la superficie.

Sin embargo, la migración en forma vertical no es tan grave, comparada con la que se presenta en forma horizontal, dado que los efectos del biogás hacia lugares fuera del sitio (principalmente si existen poblaciones circunvecinas), pueden ser de mayores consecuencias

El movimiento lateral del biogás se debe principalmente a las características geológicas locales, así como a las condiciones de permeabilidad de la cobertura final, en los sitios de disposición final. En este caso es más representativo, pues durante la construcción de los pozos a cielo abierto que se realizaron en el estudio geotécnico, se notó la presencia del biogás en algunos de éstos, lo cual significa que muy probablemente en el relleno sanitario de SIMEPRODESO existe migración horizontal del biogás, debida quizá, a que en las primeras celdas de ese relleno sanitario no se impermeabilizaron los taludes o si hubo impermeabilización, se produjo una ruptura de la geomembrana.

Por lo antes expuesto, surge la necesidad de contar con un sistema que permita evaluar las condiciones de flujo, en la frontera de este relleno sanitario, tanto en áreas ya clausuradas como en áreas en donde se lleve a cabo la operación. Lo anterior, con el objeto de establecer las medidas de control necesarias para minimizar la migración de gases, así como llevar a cabo el monitoreo y la vigilancia del movimiento horizontal del propio gas.

En este caso, se recomienda colocar pozos de monitoreo de biogás en los lados norte y este del relleno sanitario, que son las zonas en donde se correrían riesgos, ya que cerca de estos lugares existen poblaciones e industrias que pudieran verse afectadas por una fuga de biogás. En los lados sur y oeste existen rellenos sanitarios (SIMEPRODESO y VIGUE) en donde, por lo que se pudo apreciar cuando se construyeron los pozos a cielo abierto, se sospecha que existen fugas de biogás; pero, por la ubicación, será difícil comprobar quién es el responsable.

Los pozos de biogás deben ubicarse en estos lados, a cada 200 metros de distancia y el muestreo debe ser permanente, recomendándose cuando menos cada dos meses. La construcción y equipamiento de estos pozos deberá ser como se muestra en la figura No. 5.3, mientras que la ubicación y los detalles constructivos se presentan en los planos No. 14 y 15 (Distribución y localización

pozos). Antes de comenzar el trabajo, los pozos fueron perforados por 3 años, lo

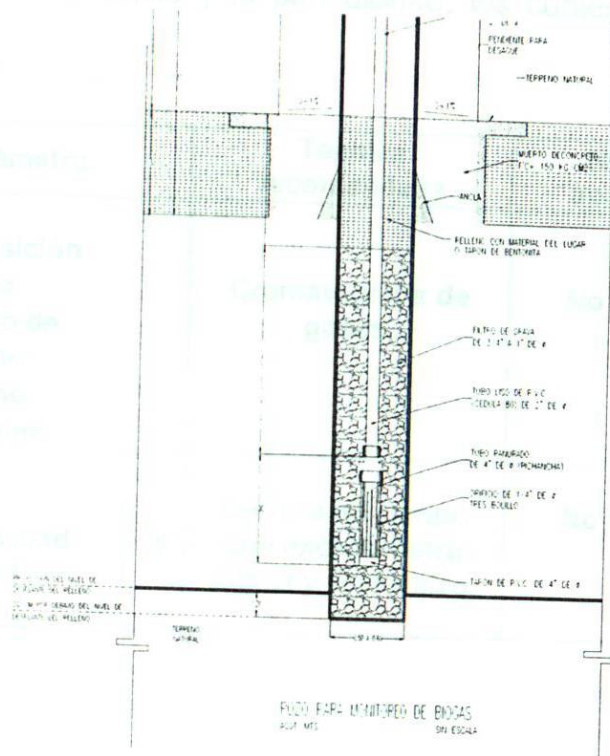


Figura 5.3. Pozo para monitoreo de biogás.

Respecto al muestreo, se aportan las siguientes recomendaciones:

- Las pruebas iniciales se realizarán normalmente, entre 30 y 45 cm, bajo la superficie del suelo del sitio, debido a la capacidad limitada del equipo de prueba.
- Las pruebas se deben realizar, principalmente, en el perímetro de las zonas habitacionales.
- Monitorear la concentración de esos gases en el aire, a fin de determinar su grado de toxicidad.

El programa de monitoreo de biogás incluye: los parámetros por analizar, la técnica recomendable y la periodicidad, los cuales se muestran en la tabla siguiente:

Parámetro	Técnica recomendada	Norma aplicable	Periodicidad recomendada
a) Composición – Metano – Dióxido de carbono – Oxígeno – Nitrógeno	Cromatografía de gases.	No existe	Trimestral
b) Flujo c) Explosividad y toxicidad d)	Lectura en campo con explosímetro digital y flujómetro.	No existe	Mensual

5.5. Celda de emergencia.

Con la finalidad de contar con un área de emergencia para la disposición final de los residuos sólidos; cuando por una eventualidad, un desastre natural o una emergencia de cualquier tipo, no sea posible la operación en la celda habitual, será necesario contar con una celda de emergencia, que permita con facilidad el acceso de los vehículos, su descarga y la operación normal de estos residuos. Esta celda contará con los mismos elementos de seguridad que una celda normal; es decir, impermeabilización, sistemas de control de lixiviados y biogás y cobertura diaria. En este caso, se recomienda construir esta área en la celda 12, de la macrocelda 6, de la zona A.

5.6. Diseño del sistema de drenaje para el agua pluvial.

Como ya se mencionó anteriormente, en el relleno sanitario, la generación de lixiviados depende del agua pluvial que tenga contacto con los residuos sólidos. Debido a lo anterior, es necesario evitar al máximo la saturación excesiva de los residuos sólidos. Lo anterior se puede lograr con la cobertura diaria de estos residuos y con el control y desvío de los escurrimientos superficiales dentro y fuera del sitio de disposición final.

El sistema de control de los escurrimientos superficiales tiene dos objetivos fundamentales que son:

- ♦ Reducir en lo posible la entrada de agua al sitio
- ♦ Desalojar el agua pluvial que cae dentro de las áreas y las celdas de operación.

Las obras de drenaje superficial son, principalmente, zanjas, canales, cunetas y vados que se construyen tanto en los límites del sitio, como dentro del mismo, con el objetivo de captar, conducir, desviar y desalojar el agua de lluvia que pudiese llegar al lugar donde se encuentren los residuos sólidos.

5.6.1. Diseño del canal perimetral.

Para poder efectuar un control efectivo de los escurrimientos superficiales, dentro y fuera del relleno sanitario PRODESA de Salinas Victoria, se deberán realizar obras de drenaje internas y externas. En este caso, las áreas de captación, externa e interna, se ubican en la zona oeste del sitio (la topografía demuestra que los escurrimientos superficiales se dan del suroeste al noreste del sitio). Por esta razón, se diseñaron los canales perimetrales para las zonas A y B del relleno sanitario, así como los canales interiores de estas zonas. A continuación se presentan los diseños de los canales perimetrales e interiores.

5.6.2. Diseño de canal perimetral de la zona A.

1.- Cálculo de la Intensidad de Lluvia. (mm/hr)

$$I = h / t$$

Donde:

h = altura de la lluvia acumulada en mm

t = Tiempo de duración de lluvia en hrs.

Altura de lluvia	Tiempo de duración	Intensidad
82	2	41

$$I = 41$$

mm/hr

2.- Cálculo del Coeficiente de escurrimiento.

$C = \text{Vol. De agua que llueve} / \text{Vol. De agua que escurre}$

Coeficiente de escurrimiento para superficies de terreno compacto de 2 a 7% de pendiente:
 $C = 0,20$

$$C = 0.20$$

3.- Cálculo del área por drenar. (has.)

Caso 2.- Área

Área = 25.79063717 has

4.- Cálculo del Gasto. (m^3/s)

Q = CIA 2,778

Método racional Americano.

$$Q = 0,20(41 \text{ mm/hr})(25,790637 \text{ has})2,778$$

$$Q = 0.587500398 \quad (m^3/s)$$

5.- Cálculo de la pendiente. (m)

$$S = h / l$$

Donde:

h = altura o diferencia de cotas
(m)

l = longitud total

Cotas:

cota 1= 467.00

cota 2= 460.80

h = 6.20

l = 777.93

Longitud = 777.93 m.

$$S = 0.007969869 \quad m$$

6.- Cálculo del coeficiente de rugosidad.

Condición	Valor de n	Condición	Valor de n
<i>Tipo de material</i>		<i>Vegetación</i>	
tierra	0.0200	Poca	0,005 - 0,010
roca	0.0250	Media	0,010 - 0,025
arena delgada	0.0200	Mucha	0,025 - 0,050
grava	0.0250	demasiada	0,050 - 0,100
<i>Obstáculos</i>		<i>Trazo longitudinal del río</i>	
suaves	0,010 - 0,015	aprox. Recta	1.0000
notables	0,020 - 0,030	curvas suaves	1.1500
bruscos	0,040 - 0,060	curvas notables	1.2000

Para este caso se tienen obstáculos suaves, y media vegetación, por lo tanto el coeficiente de rugosidad será de:

$$n = 0.010$$

7.- Cálculo geométrico de la sección del canal.

Canal
trapezoidal

Mediante la formula de Manning se calcula el área hidráulica, el perímetro mojado y el radio hidráulico.

$$Q = (A / n) R_h^{2/3} S_f^{1/2}$$

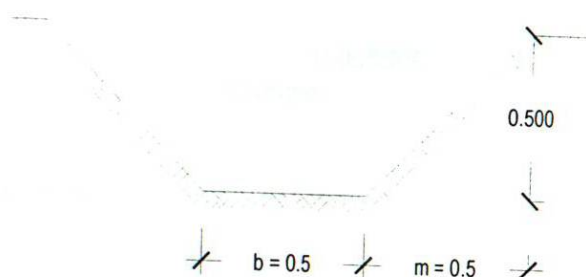
De esta formula, se despejan los datos que ya se tienen:

$$Qn / S_f^{1/2} = A_h R_h^{2/3}$$

$$0.065809 = A_h R_h^{2/3}$$

Y se calculan los que restan mediante una serie de iteraciones basados en valores propuestos. En donde primero se proponen las dimensiones de la sección del canal.

Talud 1:1



$$A_h = bd + md^2$$

$$Pm = b + 2d\sqrt{1+m^2}$$

$$R_h = A_h / Pm$$

Datos:

$$b = 0.50$$

$$m = 0.50$$

$$m^2 = 0.25$$

$$m^2 + 1 = 1.25$$

$$\sqrt{1+m^2} = 1.118033989$$

1ra. Iteración

Se propone un tirante de: $d = 0.30$

$$A_h = 0.195$$

$$Pm = 1.1708204$$

$$R_h = 0.1665499$$

$$0.065809 = 0.059028829$$

Falto

2da. Iteración

Se propone un tirante de: $d = 0.40$

$$A_h = 0.28$$

$$Pm = 1.3944272$$

$$R_h = 0.2007993$$

$$0.065809 = 0.096013615$$

se pasa

3ra. Iteración

Se propone un tirante de: $d = 0.35$

$$\begin{aligned} A_h &= 0.23625 \\ P_m &= 1.2826238 \\ R_h &= 0.1841927 \end{aligned}$$

$$\text{Pasa} \quad 0.065809 = 0.07648099$$

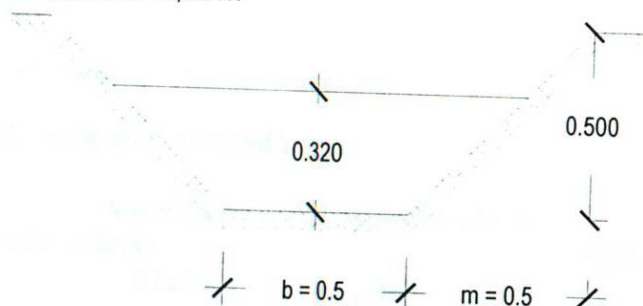
4ta. Iteración

Se propone un tirante de: $d = 0.32$

$$\begin{aligned} A_h &= 0.2112 \\ P_m &= 1.2155418 \\ R_h &= 0.1737497 \end{aligned}$$

$$\text{Cumple} \quad 0.065809 = 0.065762241$$

Por lo tanto el tirante será de $d = 0.32 \text{ m}$



5.6.3. Diseño de canal perimetral de la zona B.

1.- Cálculo de la Intensidad de lluvia. (mm/hr)

$$I = h / t$$

Donde:

h = altura de la lluvia acumulada en mm
 t = Tiempo de duración de lluvia en hrs.

Altura de lluvia	Tiempo de duración	Intensidad
82	2	41

$$I = 41.00 \quad \text{mm/hr}$$

2.- Cálculo del Coeficiente de escurrimiento.

C = Vol. De agua que llueve / Vol. De agua que escurre

Coeficiente de escurrimiento para superficies de terreno compacto de 2 a 7% de pendiente:
 $C = 0.20$

3.- Cálculo del área por drenar. (has.)

$$C = 0.20$$

Caso 1.- Area 1.

$$\text{Area} = 121.2225 \text{ has}$$

4.- Cálculo del Gasto. (m^3/s)

$$Q = \text{CIA } 2,778$$

Método racional Americano.

$$Q = 0,20(41 \text{ mm/hr})(121,2225 \text{ has})2,778$$

$$Q = 2.761400061 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

5.- Cálculo de la pendiente. (m)

$$S = h / l$$

Donde:

h = altura o diferencia de cotas (m)

l = longitud total

Cotas:

$$\text{cota } 1 = 464.00$$

$$\text{cota } 2 = 453.00$$

$$h = 11.00$$

$$l = 1211.2002$$

$$\text{Longitud} = 1211.2002 \text{ m.}$$

$$S = 0.0090819 \text{ m}$$

6.- Cálculo del coeficiente de rugosidad.

Condición	Valor de n	Condición	Valor de n
<i>Tipo de material</i>		<i>Vegetación</i>	
tierra	0.0200	poca	0,005 - 0,010
roca	0.0250	media	0,010 - 0,025
arena delgada	0.0200	mucha	0,025 - 0,050
grava	0.0250	demasiada	0,050 - 0,100
<i>obstáculos</i>		<i>Trazo longitudinal del río</i>	
suaves	0,010 - 0,015	aprox. Recta	1.0000
notables	0,020 - 0,030	curvas suaves	1.1500
bruscos	0,040 - 0,060	curvas notables	1.2000

Para este caso se tienen obstáculos suaves, y media vegetación, por lo tanto el coeficiente de rugosidad será de:

$$n = 0.010$$

7.- Cálculo geométrico de la sección del canal.

Canal Trapezoidal

Mediante la formula de Manning se calcula el área hidráulica, el perímetro mojado y el radio hidráulico.

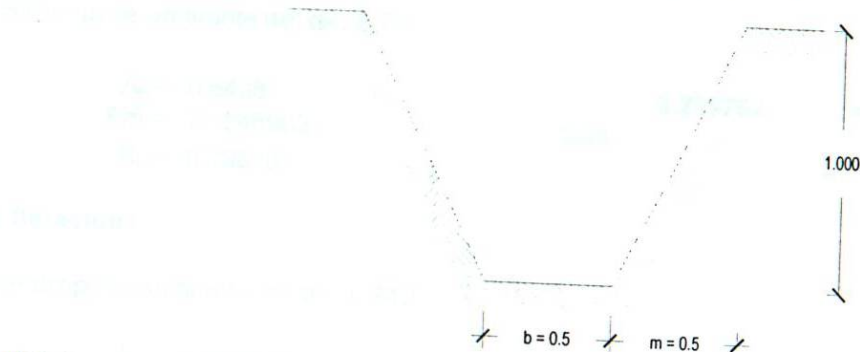
$$Q = (A / n) R_h^{2/3} S_f^{1/2}$$

De esta formula, se despejan los datos que ya se tienen:

$$Qn / S_f^{1/2} = A_h R_h^{2/3}$$

$$0.289762 = A_h R_h^{2/3}$$

Y se calculan los que restan mediante una serie de iteraciones basados en valores propuestos. En donde primero se proponen las dimensiones de la sección del canal.



Talud 2:1

$$A_h = bd + md^2$$

$$Pm = b + 2d\sqrt{1+m^2}$$

$$R_h = A_h / Pm$$

Datos:

$$b = 0.50$$

$$m = 0.50$$

1ra. Iteración

Se propone un tirante de: $d = 0.80$

$$A_h = 0.72$$

$$Pm = 2.2888544$$

$$R_h = 0.3145678$$

$$m^2 = 0.25$$

$$m^2 + 1 = 1.25$$

$$\sqrt{1+m^2} = 1.11803399$$

$$0.289762 = 0.3330239$$

Se pasa

2da. Iteración

Se propone un tirante de: $d = 0.70$

$$A_h = 0.595$$

$$Pm = 2.0652476$$

$$R_h = 0.2881011$$

$$0.289762 = 0.2595455$$

Falto

3ra. Iteración

Se propone un tirante de: $d = 0.75$

$$A_h = 0.65625$$

$$Pm = 2.177051$$

$$R_h = 0.3014399$$

$$0.289762 = 0.2950325$$

Se pasa

4ta. Iteración

Se propone un tirante de: $d = 0.73$

$$\begin{array}{lcl}
 A_h = 0.63145 & & \\
 P_m = 2.1323296 & & \\
 R_h = 0.2961315 & \text{falta} & 0.289762 = 0.2805404
 \end{array}$$

5ta. Iteración

Se propone un tirante de: $d = 0.74$

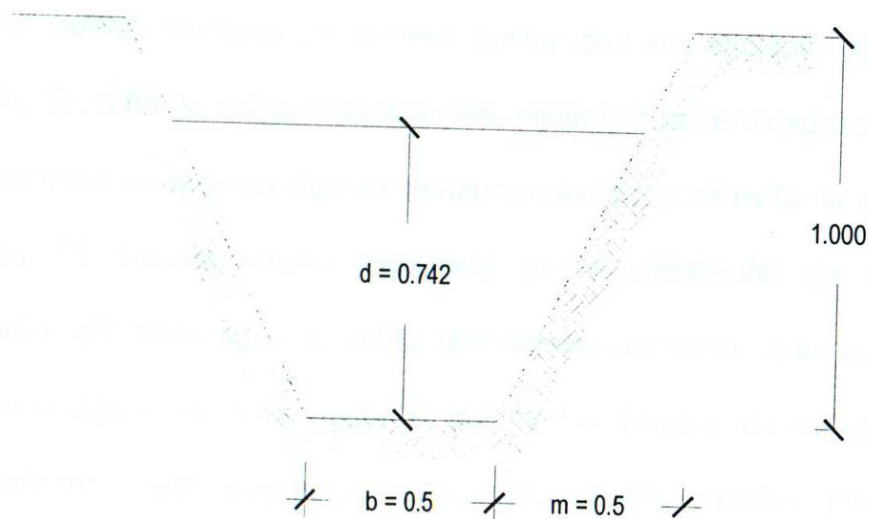
$$\begin{array}{lcl}
 A_h = 0.6438 & & \\
 P_m = 2.1546903 & & \\
 R_h = 0.29879 & \text{falta} & 0.289762 = 0.2877366
 \end{array}$$

6ta. Iteración

Se propone un tirante de: $d = 0.742$

$$\begin{array}{lcl}
 A_h = 0.646282 & & \\
 P_m = 2.1591624 & & \\
 R_h = 0.2993207 & \text{Cumple.} & 0.289762 = 0.2891877
 \end{array}$$

Por lo tanto el tirante será de $d = 0,742 \text{ m}$



Procedimiento constructivo.

Anticipadamente se realizará una limpieza y trazo del canal en toda la longitud donde se desplantará y nivelará con las pendientes del proyecto. Posteriormente, se realizará una excavación mecánica o manual, hasta

alcanzar la sección del canal propuesta, recubriéndolo con 0.05 m de espesor de concreto de $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$, reforzado con malla electrosoldada E-6-6/6-6. La construcción del canal se efectuará en toda la longitud del perímetro indicado. Ver el plano No. 16, Cerca, caminos y canal perimetral. En primera instancia se recomienda construir este canal en terreno natural y conforme se construyan las siguientes macroceldas, si se considera necesario, este canal se puede revestir de concreto.

5.6.4. Diseño de canal interior de la zona B.

Dentro del relleno sanitario se deberá contar con un eficiente sistema de drenaje pluvial, a fin de evitar inundaciones, minimizar la cantidad de lixiviados y, principalmente, cuando se alcance la altura máxima, para evitar la erosión de la cubierta. El drenaje interior consistirá en la colocación de lavaderos prefabricados en cada capa y celda del relleno sanitario, que captarán y conducirán el agua de lluvia hasta el pie de los taludes de las celdas de residuos sólidos, para finalmente evacuarla por los canales interiores y perimetrales hasta la parte baja del arroyo que cruzaba este sitio.

El canal interior tendrá una sección triangular, que serán las cunetas de los caminos interiores; se revestirá con una mezcla de concreto mortero - arena en proporciones 1:3, y se reforzará con malla electrosoldada; pero, al igual que el canal perimetral, primero se recomienda construir estos canales en terreno

natural y conforme se sigan construyendo y llenando las macroceldas, se verá la necesidad o no de revestirlos de concreto.

En el plano No. 16, (Cerca, caminos y canal perimetral), se presenta, en detalle, la ubicación y el método constructivo. A continuación se presenta el diseño del canal interior, tomando como área máxima de aportación el área interior de la zona B.

1.- Cálculo de la Intensidad de Lluvia. (mm/hr)

$$I = h / t$$

Donde:

h = altura de la lluvia acumulada en mm

t = Tiempo de duración de lluvia en hrs.

Altura de lluvia	Tiempo de duración	Intensidad
82	2	41

$$I = 41 \quad \text{mm/hr}$$

2.- Cálculo del Coeficiente de escurrimiento.

C = Vol. De agua que llueve / Vol. De agua que escurre

Coeficiente de escurrimiento para superficies de terreno compacto de 2 a 7% de pendiente:
C = 0,20

$$C = 0.20$$

3.- Cálculo del área por drenar. (has.)

Caso 3.-

$$\text{Área} = 82.82548851 \quad \text{has.}$$

4.- Cálculo del Gasto. (m³/s)

Q = CIA 2,778 Método racional Americano.

$$Q = 0,20(41 \text{ mm/hr})(82,825489 \text{ has})2,778$$

$$Q = 1.886731498 \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

5.- Cálculo de la pendiente. (m)

$$S = h / l$$

Donde:

h = altura o diferencia de cotas (m)

l = longitud total

Cotas:

cota 1= 465.00

cota 2= 454.00

$h = 11.00$

$l = 1061.002$

Longitud = 1061.002 m.

$S = 0.01036756$ m

6.- Cálculo del coeficiente de rugosidad.

Condición	Valor de n	Condición	Valor de n
<i>Tipo de material</i>		<i>Vegetación</i>	
tierra	0.0200	poca	0,005 - 0,010
roca	0.0250	media	0,010 - 0,025
arena delgada	0.0200	mucha	0,025 - 0,050
grava	0.0250	demasiada	0,050 - 0,100
<i>obstaculos</i>		<i>Trazo longitudinal del río</i>	
suaves	0,010 - 0,015	aprox. Recta	1.0000
notables	0,020 - 0,030	curvas suaves	1.1500
bruscos	0,040 - 0,060	curvas notables	1.2000

Para este caso, se tienen obstáculos suaves, y media vegetación; por lo tanto, el coeficiente de rugosidad será de:

$$n = 0.010$$

7.- Cálculo geométrico de la sección del canal.

Canal Triangular

Mediante la formula de Manning se calcula el área hidráulica, el perímetro mojado y el radio hidráulico.

$$Q = (A / n) R_h^{2/3} S_f^{1/2}$$

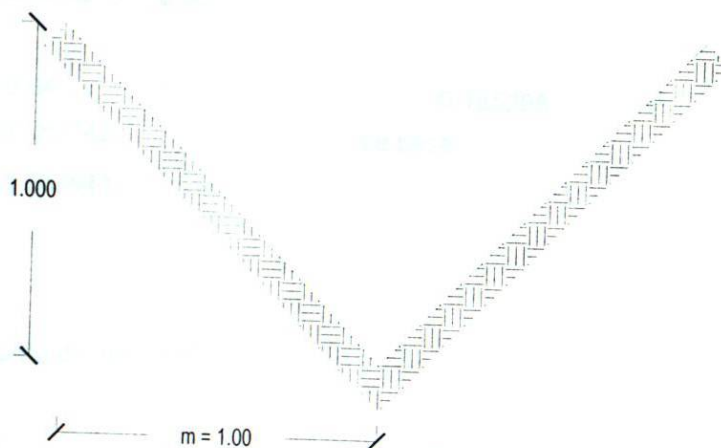
De esta fórmula, se despejan los datos que ya se tienen:

$$Qn / S_f^{1/2} = A_h R_h^{2/3}$$

por lo
tanto:

$$0.185298 = A_h R_h^{2/3}$$

Y se calculan los que restan mediante una serie de iteraciones basados en valores propuestos, en donde primero se proponen las dimensiones de la sección del canal.



Talud 1:1

$$A_h = md^2$$

$$Pm = 2d\sqrt{1+m^2}$$

$$R_h = A_h / Pm$$

Datos:

$$m = 1.00$$

$$m^2 = 1.00$$

$$m^2 + 1 = 2.00$$

$$\sqrt{1+m^2} = 1.41421356$$

1ra. Iteración

Se propone un tirante de: $d = 0.30$

$$A_h = 0.09$$

$$Pm = 0.848528$$

$$R_h = 0.106066$$

$$0.185298 = 0.02016632$$

falta

2da. Iteración

Se propone un tirante de: $d = 0.50$

$$A_h = 0.25$$

$$0.185298 = 0.07874507$$

$$P_m = 1.414214$$

falta

$$R_h = 0.176777$$

3ra. Iteración

Se propone un tirante de: $d = 0.80$

$$A_h = 0.64$$

$$P_m = 2.262742$$

$$R_h = 0.282843$$

$$0.185298$$

=

$$0.27576764$$

se pasa

4ta. Iteración

Se propone un tirante de: $d = 0.80$

$$A_h = 0.64$$

$$P_m = 2.262742$$

$$R_h = 0.282843$$

$$0.185298$$

=

$$0.27576764$$

se pasa

5ta. Iteración

Se propone un tirante de: $d = 0.690$

$$A_h = 0.4761$$

$$P_m = 1.951615$$

$$R_h = 0.243952$$

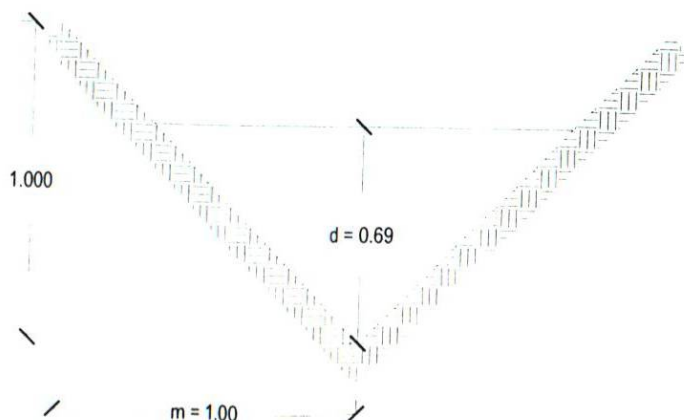
$$0.185298$$

=

$$0.18588068$$

Se pasa

Por lo tanto el tirante será de $d = 0.69 \text{ m}$



5.7. Los caminos interiores.

5.7. Los caminos

Una de las obras más importantes en el relleno sanitario es la construcción de adecuados caminos de acceso, ya que de ellos depende el arribo seguro de los diversos vehículos de recolección al sitio y a las celdas interiores. En este relleno sanitario, los caminos se pueden clasificar como exteriores e interiores.

5.7.1 Camino Exterior.

Actualmente, el camino de acceso, aunque de terracería, se encuentra en buenas condiciones, ya que también es el acceso al relleno sanitario VIGUE, al cual se presume que le dan mantenimiento. Este mismo camino servirá para tener acceso a este relleno sanitario, aunque se estima que con el tránsito de más vehículos será necesario darle un mayor mantenimiento empleando para este caso el material de canto rodado que existe en el sitio.

5.7.2. Los caminos interiores.

En el caso de los caminos interiores, que serán necesarios para la construcción de las celdas, los cuales tendrán una circulación del tipo local, el tránsito es de baja densidad y, en algunos casos, de tipo temporal.

Por lo tanto, se podrán construir en el cuerpo de terraplén, con taludes de 1.00 a 1.00, hasta alcanzar los niveles de proyecto y sólo requerirán de un revestimiento en la corona de los mismos. En la figura 5.4 se presenta el diseño propuesto para estos caminos interiores.

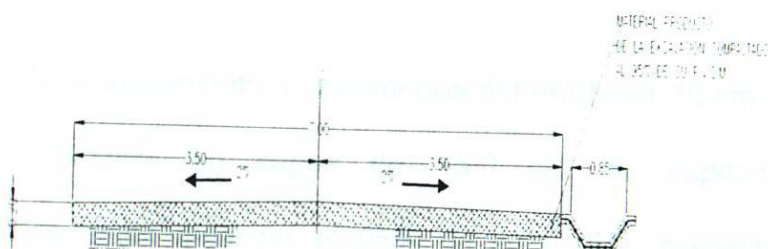


Figura 5.4. Corte esquemático de los caminos interiores.

El cuerpo de terraplén deberá conformarse en capas de 20 cm de espesor, las cuales se conformarán con material producto de la excavación y se compactarán hasta alcanzar el 90% de su PVSM, respecto a la norma ASTM-D-1557, con un contenido de humedad del 2% por encima del óptimo.

En el caso de no utilizar el material producto de excavación, se recurrirá a un banco de préstamo de materiales. El material deberá tener las siguientes propiedades:

Granulometría:	80% mín. < 76 mm (% en vol.).
Tamaño máximo:	76 mm.
Porcentaje de finos:	40% máximo
Límite líquido:	50% máximo
Índice de plasticidad:	20% máximo
Valor relativo de soporte:	10% mínimo
Expansión:	3% máximo

Para el caso del revestimiento, por lo menos deberá tener 30 cm de espesor. El material se colocará en capas de 15.0 cm de espesor cada una, compactándolas hasta alcanzar el 95% de su PVSM, respecto a la norma ASTM-D-1557, con un contenido de humedad de 2% por encima del óptimo.

Para construir esta capa se podrá utilizar el material que se localiza dentro del predio, en el arroyo seco, el cual satisface las características de calidad, previo cribado, a tamaño máximo de 1 ½".

En el caso de que no se pueda utilizar, se podrá adquirir material del banco más próximo, que tenga las siguientes propiedades:

Tamaño máximo:	76 mm.
----------------	--------

Porcentaje de finos:	35% mín..
Límite líquido:	40% máximo
Índice de plasticidad:	20% máximo
Valor relativo de soporte:	20% mínimo

5.8. Área de amortiguamiento.

Con la finalidad de mitigar los efectos producidos por el ruido, el polvo y los materiales volátiles, se contempla la creación de un área de amortiguamiento ubicada en todo el perímetro de cada una de las zonas que conforman el relleno sanitario. Ésta tendrá un ancho de 10 m y dentro de ella también se ubicará un camino perimetral, un canal para la captación y el desvío del agua de lluvia y la cerca perimetral.

5.8.1. Cerca perimetral.

La cerca perimetral, como obra complementaria, tendrá las siguientes funciones:

- ♦ Delimitar el sitio con respecto a las zonas circundantes.
- ♦ Protegerlo del acceso clandestino de vehículos y personal no autorizado.
- ♦ Evitar el acceso de los animales domésticos de las poblaciones vecinas.

- ♦ Una vez clausurado el relleno sanitario, evitar el acceso a quienes pretendan seguir utilizándolo.

Actualmente, todo el predio se encuentra cercado con postes y tres hileras de alambre de púas. Esta cerca se puede dejar o, en su caso, se puede cambiar por una cerca de malla ciclónica galvanizada calibre 10.5, de abertura estándar, reforzada con postes a cada 3 m de separación y cimentados sobre zapatas aisladas de 0.40 x 0.40 x 0.75 m. Ésta, a su vez, se enmarcará con tubos horizontales; la altura será de 2.50 m incluyendo tres hileras de alambre de púas, espaciadas a cada 0.10 m (Opcional). Como parte integral de la cerca, se encuentran las puertas, las cuales serán del mismo material, sostenidas por postes laterales, que se desplantarán sobre zapatas aisladas de 0.40 x 0.40 x 0.60 m.

Las oficinas administrativas estarán ubicadas en la zona A; por lo que, una vez pesados los vehículos, éstos se dirigirán a la celda B. Por este motivo, la zona B tendrá 4 accesos con sus respectivas puertas. Estas puertas serán de 10 m de ancho, con doble hoja, con una puerta para el acceso de personas de 1 m de ancho. Ver figura 5.5. Los detalles de la cerca perimetral se presentan en el plano 16 Cerca, caminos y canal perimetral.



5.9.1. Caseta de control y vigilancia.

Se desplantará sobre una losa de concreto armado, con muros de ladrillo, reforzados con castillos a cada tres metros. Los muros se repellarán y el piso será de cemento pulido.

5.9.2. La báscula y área de pesaje.

Se acondicionará una área donde se localizará la báscula para controlar el peso de los vehículos de transferencia y recolección. Se ubicará dentro del complejo de las oficinas administrativas. La báscula será de una capacidad de 60 toneladas, para poder pesar tanto vehículos de recolección como vehículos de transferencia. Las dimensiones más comunes de este tipo de básculas son de un ancho de 3.0 m y el largo de 18.0 m

Los proveedores de básculas recomiendan una instalación superficial y no subterránea del mecanismo; en este sentido, los detalles de construcción de rampas de acceso a las básculas y los requerimientos de preparación del sitio, deberán ser discutidos con el proveedor.

5.9.3. Taller y cobertizo.

Es básicamente una estructura destinada para la reparación de equipos como camiones, y maquinaria pesada. Contará con un área de almacenamiento donde se guardarán las refacciones consumibles. El taller tendrá una superficie de 14 m² y el cobertizo de 48 m² (6 m x 8 m)

5.9.4. Oficina administrativa.

La oficina contará con una superficie total de 28 m², incluyendo el área de báscula, la oficina del residente, la sala de juntas y un sanitario. Los muros serán de block de concreto, aplanados y repelleados.

Respecto al servicio de agua potable, se pretende que ésta sea abastecida de acuerdo con las necesidades diarias, por una pipa, utilizando para su almacenamiento dos cisternas de 5000 lts. A partir de esta fuente de almacenamiento, se conectará la red hidráulica que abastecerá a los baños y los sanitarios.

En cuanto al suministro de energía eléctrica, se tomará de la red pública, que dará servicio al área administrativa, a la caseta de control de pesaje y a la caseta de vigilancia. Es recomendable contar con una planta de emergencia de energía eléctrica de 1 HP, para mantener el funcionamiento continuo de la báscula en caso de interrupciones o fallas del servicio.

Para el desfogue del agua residual se construirá una fosa séptica en la parte posterior de la oficina, en esta estructura se alojará un sistema de tratamiento anaerobio.

5.9.5. Área de estacionamiento y pasillos.

Las primeras son las áreas donde se acomodarán los vehículos del personal y de las visitas. Las áreas de pasillos son aquellas destinadas a intercomunicar todas las otras áreas ya indicadas.

La superficie asignada para estacionamiento será aproximadamente de 108 m^2 , en la cual se construirán los cajones. El piso recibirá una compactación del 95% de acuerdo con la prueba Próctor Estándar, la cual se dará con el compactador "pata de cabra", tendiéndose posteriormente una capa de material como grava controlada, sobre la superficie de rodamiento. Los andadores serán de concreto.

5.9.6. Área de baños y vestidores.

Debido a las condiciones de las labores que se realizan durante la operación del relleno sanitario, el personal contará con un área de baños y vestidores. Esta área tendrá una superficie de 10.5 m^2 y constará de 2 regaderas, un lavabo y un sanitario. Los muros se aplanarán y pintarán y en el piso se colocará un firme de cemento pulido de 0.20 m de espesor.

Se hace una descripción breve de la obra civil anteriormente señalada, en los planos Nos 18, 19 y 20, Oficinas administrativas, control de pesaje y caseta de vigilancia. Se presentan la planta arquitectónica y el diseño estructural.

REFERENCIAS

REFERENCIAS

- 1.- Acevedo Álvarez. Manual de hidráulica. Editorial Harta, México
- 2.- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales. Organización Panamericana de la Salud. Guía para el manejo de Residuos Sólidos en ciudades pequeñas y zonas rurales. Lima, Perú, 1997
- 3.- Comisión Nacional del Agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Mecánica de suelos. Instructivo para ensaye de suelos. México, 1990
- 4.- Diccionario de términos Geológicos. Instituto de Geología de América. EUA, 1984
- 5.- Diccionario de Mineralogía y Geología. Lexis 22. Barcelona, España. 1980
- 6.- Dirección General de Servicios Urbanos, Departamento del Distrito Federal, Estudio del Comportamiento de un Relleno Sanitario mediante una celda de control. México, 1992
- 7.- Foster, S. & Hirata, R. Determinación del Riesgo de contaminación de aguas subterráneas. CEPIS, OPS. Lima, Perú. 1988

- 8.- Freeze, Allan R. & Cherry, John A. Groundwater, Prentice, Hall, Inc. EUA, 1979
- 9.- Colmes, John, R. Practical Waste Managment. Ed. John Wiley & Sons. EUA 1983
- 10.- Jaramillo, Jorge y Zepeda, Fco. Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. Una necesidad para pequeñas comunidades en México. OPS- SSA. México, 1999
- 11.- Jaramillo, Jorge y Zepeda, Fco. Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios en México. OPS. Washington, D.C., 1991
- 12.- Krauskopf, K. Introducción a la Geoquímica. 2ª. Edición. McGraw Hill Book Co. EUA, 1979
- 13.- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección del Ambiente. Diario Oficial de la Federación. 8 de octubre de 2003
- 14.- McBeen, Edward A., Rovers, Frank A. y Farquhar, Grahame J. SOLID WASTE LANDFILL ENGINEERING AND DESIGN. Prentice Hall. EUA, 1995
- 15.- Nelson, Samuel B. Ingeniería Hidráulica. Manual del Ingeniero Civil, Tomo IV. Frederick, S. Merrit Editores. Mcgraw Hill. 2ª. Edición en español. México, 1992
- 16.- Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT/1996. Diario Oficial de Federación 6 de Enero de 1997

17.- Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT/2003. Diario Oficial de la Federación 20 de Octubre de 2004

18.- Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT/2005. Diario Oficial de la Federación 23 de Junio de 2006

PROFESION:

Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería Civil, UANL

POSTGRADO:

Estudios de maestría en ciencias en Ingeniería Sanitaria, División de Estudios superiores de Ingeniería, UNAM.

ACTIVIDADES PROFESIONALES:

- Actualmente Coordinador de Impacto Socioeconómico y Ambiental para la Cuenca de Burgos Para PEMEX, Exploración y Producción
- Socio fundador del despacho de consultoría ambiental ENVIROPORT S.A. de C.V. Solución Integral en Materia Ambiental y de IVYA Consultores S.A. de C.V.
- Subsecretario de Ecología del Gobierno del Estado de Nuevo León de mayo de 1995 a noviembre de 2003.
- En enero de 2000 es nombrado Representante Estatal de la contraparte mexicana ante el Consejo Directivo de la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza.
- En septiembre de 2000 es nombrado Presidente del Consejo Directivo de la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza.
- En diciembre de 2002 es nombrado Presidente de la Asociación Nacional de Autoridades Ambientales Estatales.
- Catedrático e Investigador de la Facultad de Ingeniería Civil, UANL (actualmente jubilado de la Universidad de Nuevo León).
- Jefe fundador del departamento de prevención y control de la contaminación ambiental de la Delegación Nuevo León de la SEDUE Federal
- Director de control ambiental de la Subsecretaría de Ecología del Gobierno del Estado de Nuevo León
- Coordinador del programa de verificación vehicular del área metropolitana de Monterrey
- Director de construcción en PROURBE, organismo público descentralizado encargado de la construcción del Proyecto Gran Plaza.

- Subdirector de Servicios Primarios de Cd. Guadalupe, N.L.
- Asesor de diversas dependencias públicas y privadas en el campo de la Ingeniería Ambiental.

ACTIVIDADES GREMIALES

- ✓ Miembro del Colegio de Ingenieros Civiles de Nuevo León A.C.
- ✓ Ex vicepresidente técnico, sección Aire de la Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, A.C.
- ✓ Ex Presidente de la Asociación Nacional de Autoridades Ambientales Estatales
- ✓ Ex Presidente de la Sección Nuevo León de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, A.C.

En 1996 el Colegio de Ingenieros Civiles de Nuevo León le otorgo el Premio Anual al Mejor Ingeniero Civil del Sector Público.

Oficina: IVYA Consultores S.A. de C. V.

Puerto Vallarta 4413

Col. Valle las Brisas

Tel: 81 83 57 26 17 81 83 49 42 06

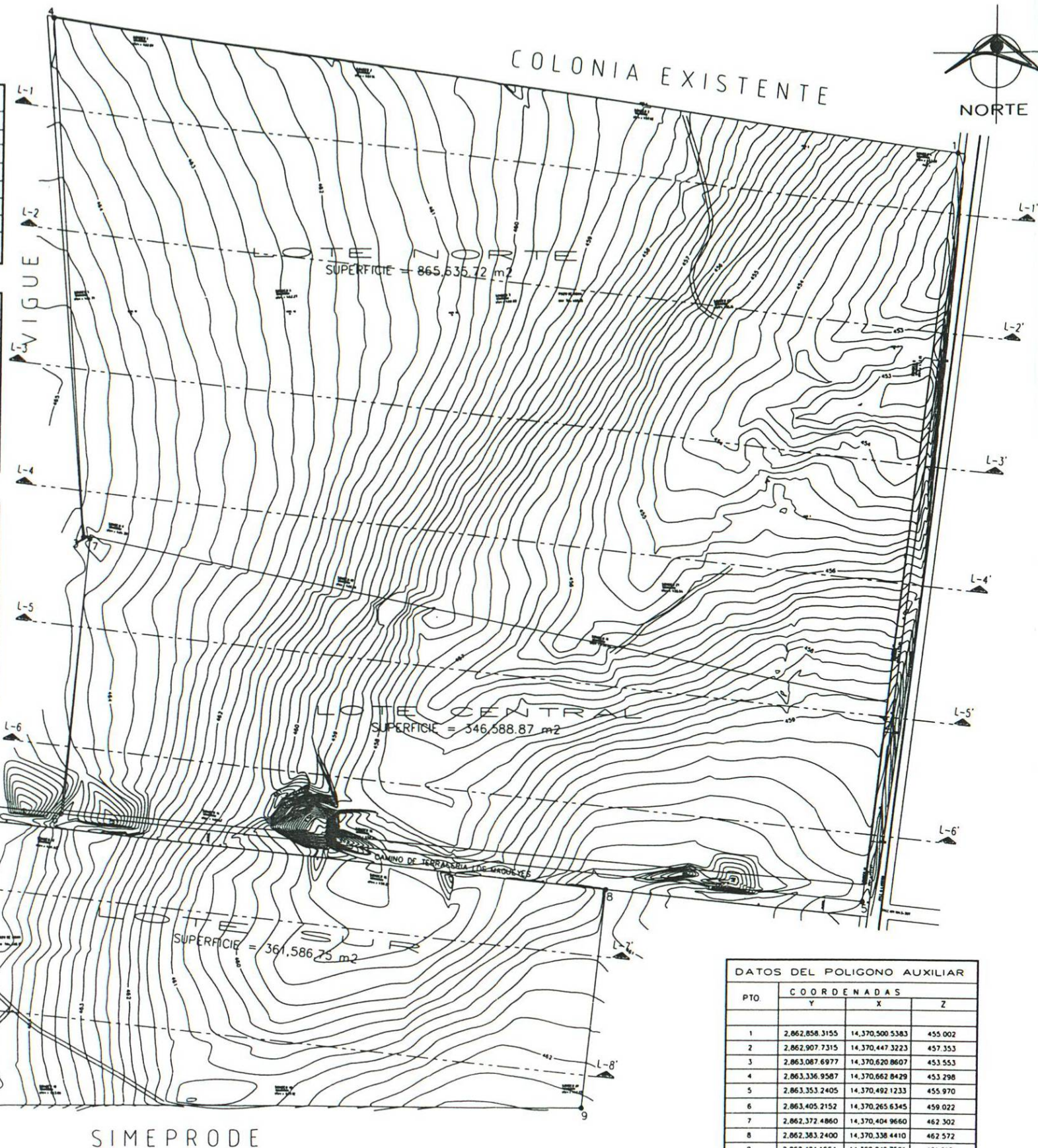
e-mail: jdelagarza@ivyaconsultores.com

CUADRO DE CONSTRUCCION LOTE NORTE									
LADO	EST	PV	RUMBO	DISTANCIA	V	COORDENADAS			
						Y	X		
1	2		S 07°03'27.54" W	764.308	1	2,863,350.5260	14,370,706.6790		
2	3		N 78°22'41.03" W	1,142.450	3	2,862,592.0090	14,370,612.7700		
3	4		N 04°13'31.24" W	689.474	4	2,863,509.7590	14,369,442.9420		
4	1		S 82°49'06.53" E	1,273.729	1	2,863,350.5260	14,370,706.6790		
SUPERFICIE = 865,635.72 m ²									

CUADRO DE CONSTRUCCION LOTE CENTRAL									
LADO	EST	PV	RUMBO	DISTANCIA	V	COORDENADAS			
						Y	X		
2	5		S 07°03'27.54" W	248.157	5	2,862,345.7325	14,370,582.2795		
5	6		N 84°28'23.93" W	1,120.620	6	2,862,453.6587	14,369,466.8687		
6	7		N 05°35'06.85" E	368.402	7	2,862,820.3117	14,369,502.7240		
7	2		S 78°22'41.03" E	1,133.280	2	2,862,592.0090	14,370,612.7700		
SUPERFICIE = 346,588.87 m ²									

CUADRO DE CONSTRUCCION LOTE SUR									
LADO	EST	PV	RUMBO	DISTANCIA	V	COORDENADAS			
						Y	X		
8	9		S 05°41'34.17" W	293.517	9	2,862,360.0845	14,370,226.2885		
9	10		S 89°48'23.19" W	842.218	10	2,862,065.1697	14,369,354.9596		
10	11		S 68°12'43.60" W	125.464	11	2,862,020.6433	14,369,243.5672		
11	12		N 15°35'55.96" W	458.000	12	2,862,467.2358	14,369,118.8858		
12	8		S 84°28'23.93" E	1,112.575	8	2,862,360.0845	14,370,226.2885		
SUPERFICIE = 361,586.75 m ²									

CUADRO DE AREAS	
No de Lotes	SUPERFICIE
Lote Norte	865,635.72 m ²
Lote Central	346,588.87 m ²
Lote Sur	361,586.75 m ²
SUPERFICIE TOTAL	1,573,811.34 m ²



DATOS DEL POLIGONO AUXILIAR			
PTO	COORDENADAS		
	Y	X	Z
1	2,862,858.3155	14,370,500.5383	455.002
2	2,862,907.7315	14,370,447.3223	457.353
3	2,863,087.6977	14,370,620.8607	453.553
4	2,863,336.9587	14,370,662.8429	453.298
5	2,863,353.2405	14,370,492.1233	455.970
6	2,863,405.2152	14,370,265.6345	459.022
7	2,862,372.4860	14,370,404.9660	462.302
8	2,862,383.2400	14,370,338.4410	462.572
9	2,862,424.1664	14,369,849.7561	461.612
10	2,862,441.7488	14,369,540.6378	465.882
11	2,862,455.3443	14,369,415.8850	467.402
12	2,863,119.4440	14,369,556.9520	463.982
13	2,863,121.7600	14,369,778.1900	462.441
14	2,863,122.5430	14,370,004.5030	460.892

NORTE

CROQUIS DE LOCALIZACION

SIMBOLOGIA

L-3 L-3' LINEA DE CORTE

27 VERTICE

POLIGONAL

SONDEO

CURVAS DE NIVEL

CAMINO DE TERRACERIA

NOTAS

LOS TALUDES DE CONFORMACION SERAN SIEMPRE EN PROPORCION 3:1

PROYECTO: DISEÑO DE RELLENO SANITARIO PRODESA

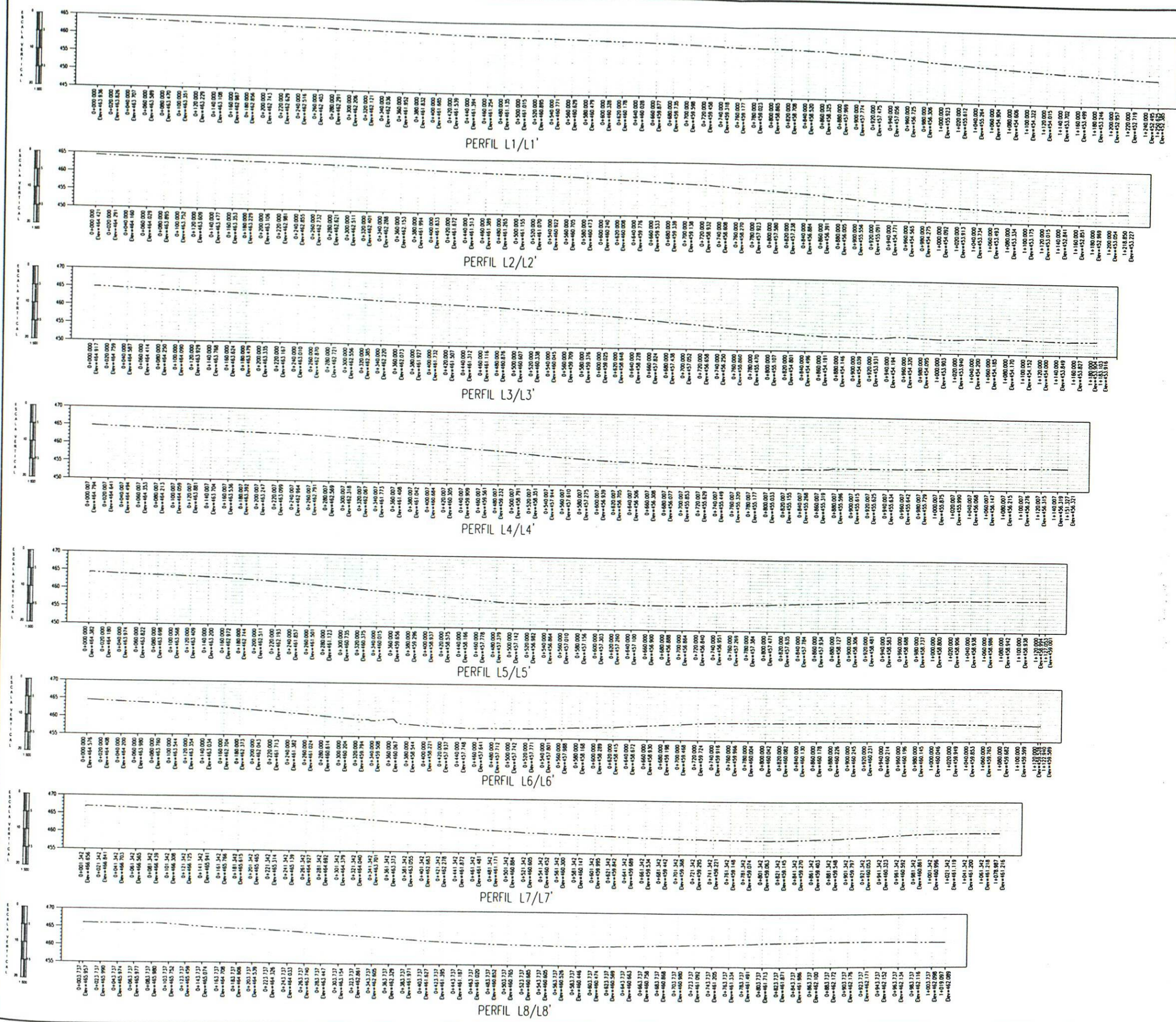
UBICACION: SALINAS VICTORIA, NUEVO LEON.

PLANO: LEANTAMIENTO TOPOGRAFICO Y DE NIVELACION (PLANTA)

FECHA: MARZO / 2005

ESCALA: 1:3,000

CLAVE DE PLANO: 01



UBICACION DE CORTES

SIMBOLOGIA

----- LINEA DE TERRENO NATURAL

0+000.000 ESTACION

Elev=464.362 ELEVACION

NOTAS

LAS COORDENADAS "X,Y,Z" ESTAN LIGADAS AL SISTEMA U.T.M.

PROYECTO: DISEÑO DE RELLENO SANITARIO PRODESA

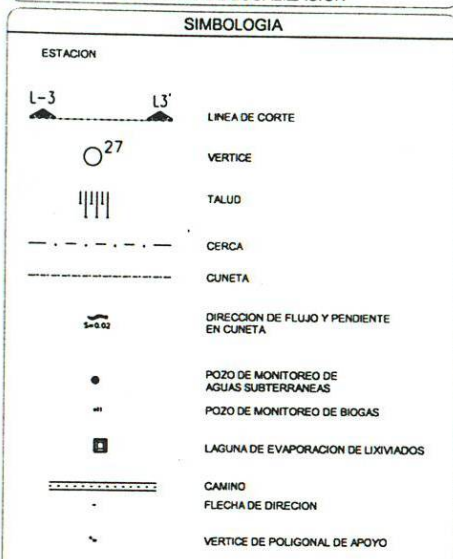
UBICACION: SALINAS VICTORIA, NUEVO LEON.

PLANO: LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO (PERFILES)

FECHA: FEBRERO / 2005

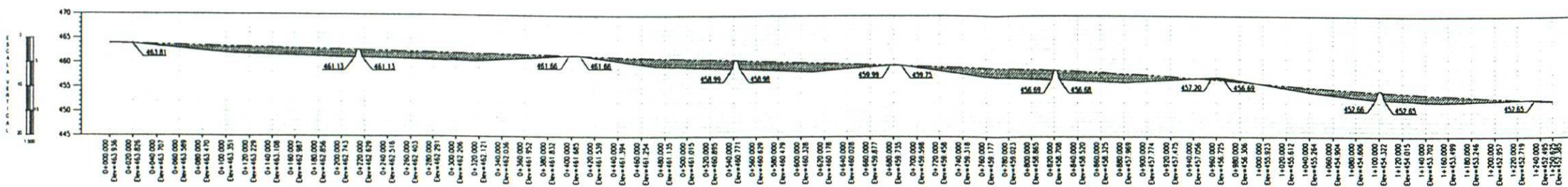
ESCALA GRAFICA: 1 : 2,000

CLAVE DE PLANO: No. DE PLANO 02

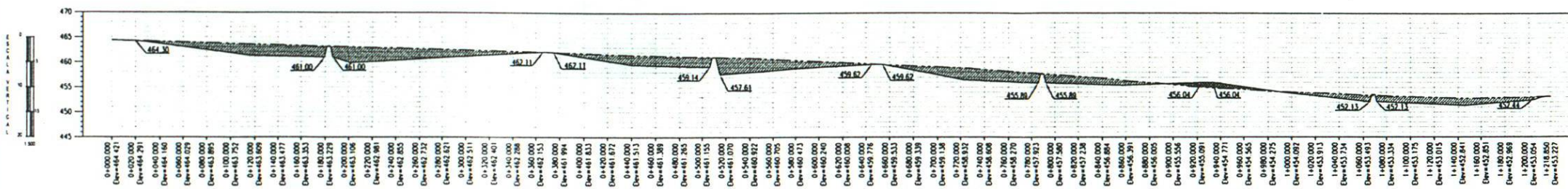


NOTAS	
* LOS TALUDES DE CORTE SERAN SIEMPRE EN PROPORCION 1:1	
* LOS NIVELES DE DESPLANTE MARCADO SON DE PISO TERMINADO LISTO PARA RECIBIR LOS RESIDUOS SOLIDOS VER DETALLE DE PREPARACION DE TERRENO.	

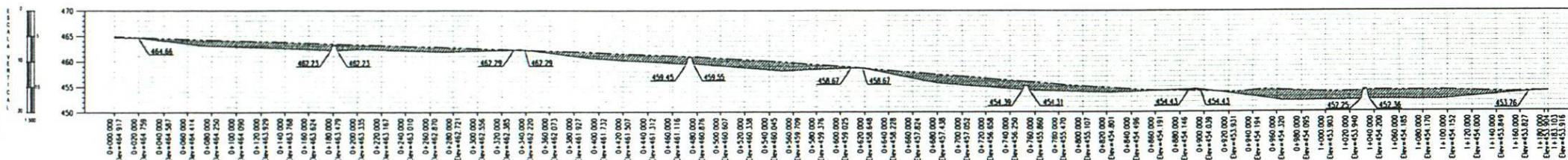
PROYECTO DISEÑO DE RELLENO SANITARIO PRODESA		
UBICACION SALINAS VICTORIA, NUEVO LEON.		
PUNTO PREPARACION DE TERRENO POLIGONAL DE APOYO (PLANTA)		
FECHA FEBRERO / 2005	ACOTACIONES METROS	PROYECTO *
ESCALA GRÁFICA 1 : 3,000		
LÍNEA DE PLANO <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;"> </div> <div style="flex: 1; text-align: right; padding-right: 10px;"> % DE PLANO 03 </div> </div>		



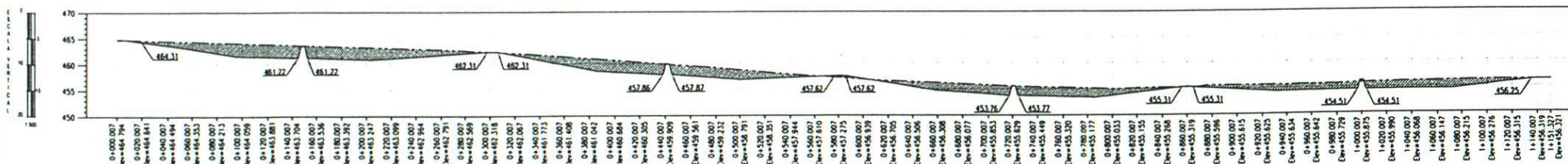
PERFIL L1/L1'



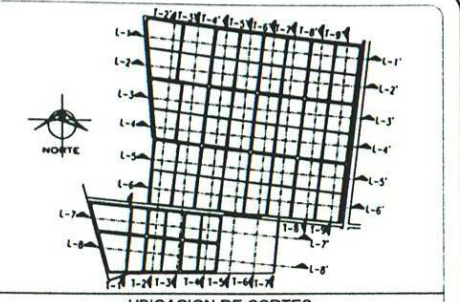
PERFIL L2/L2'



PERFIL L3/L3'



PERFIL L4/L4'



UBICACION DE CORTES

SIMBOLOGIA

	LINEA DE CORTE
	LINEA DE TERRENO NATURAL
	CORTE
	RELLENO
	ESTACION
	NIVELADO TERMINADO

NOTAS

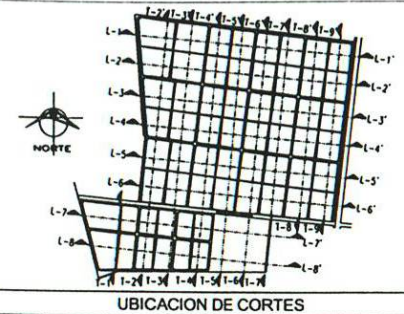
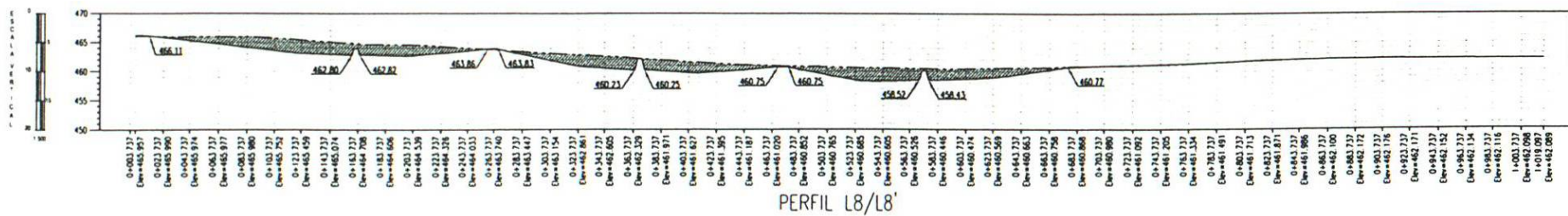
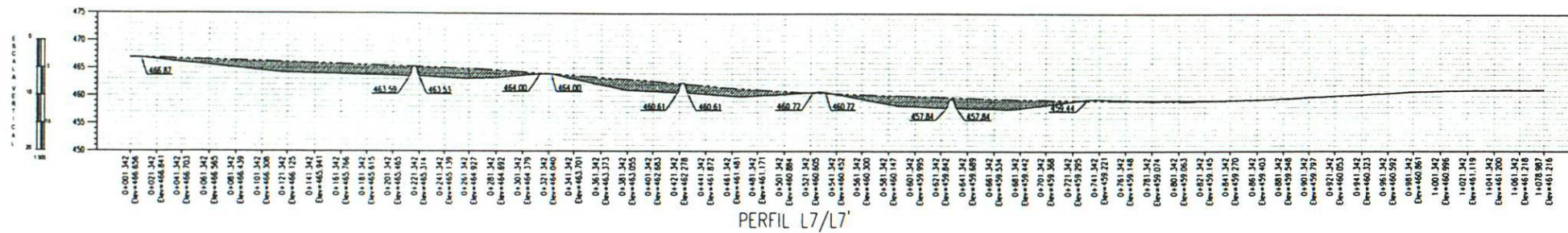
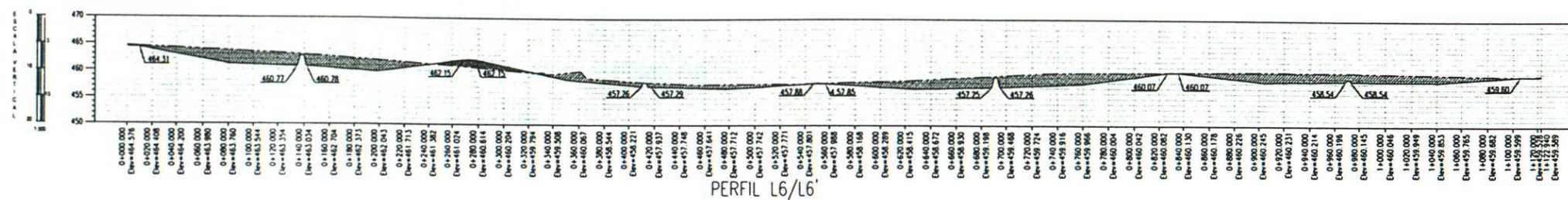
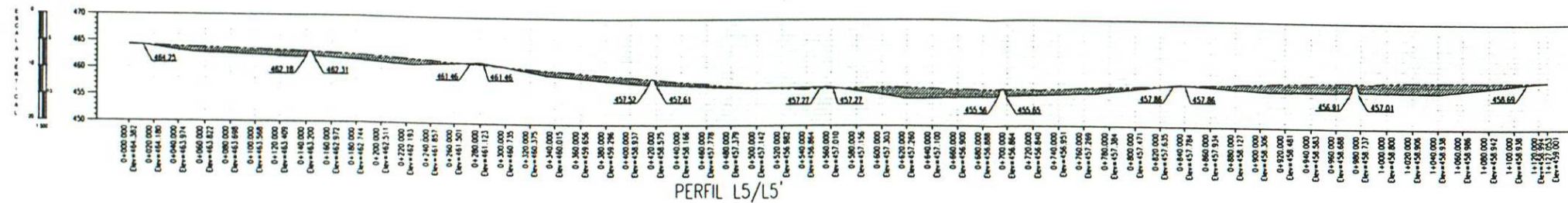
LAS COORDENADAS "X,Y,Z" ESTAN LIGADAS AL SISTEMA U.T.M.

PROYECTO: DISEÑO DE RELLENO SANITARIO
PRODESA

UBICACION: SALINAS VICTORIA, NUEVO LEON.

PLANO: PREPARACION DE TERRENO
(PERFILES LONGITUDINAL-1)

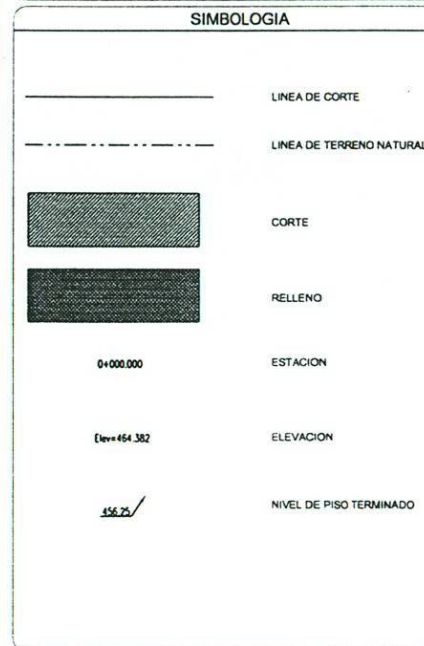
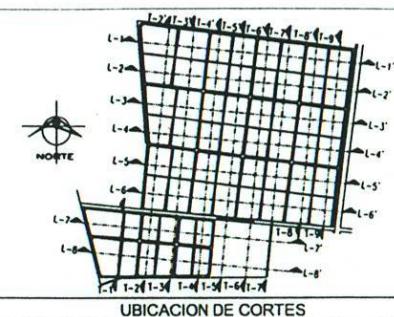
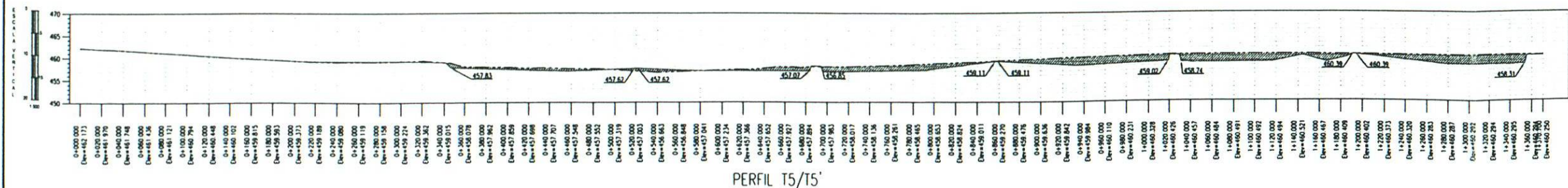
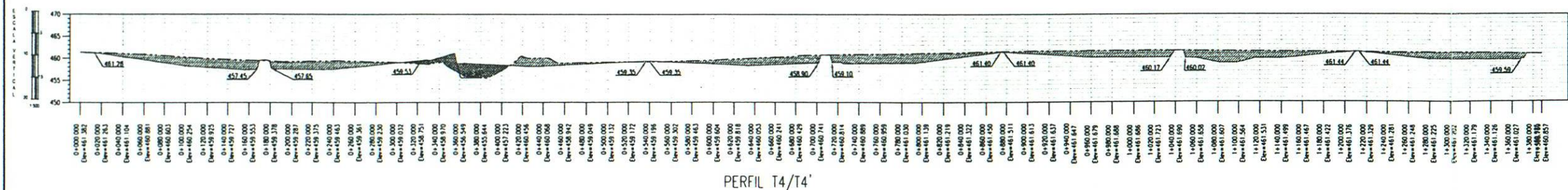
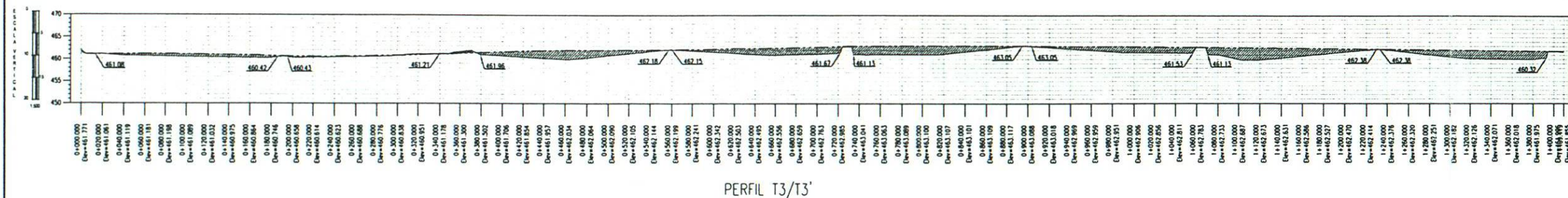
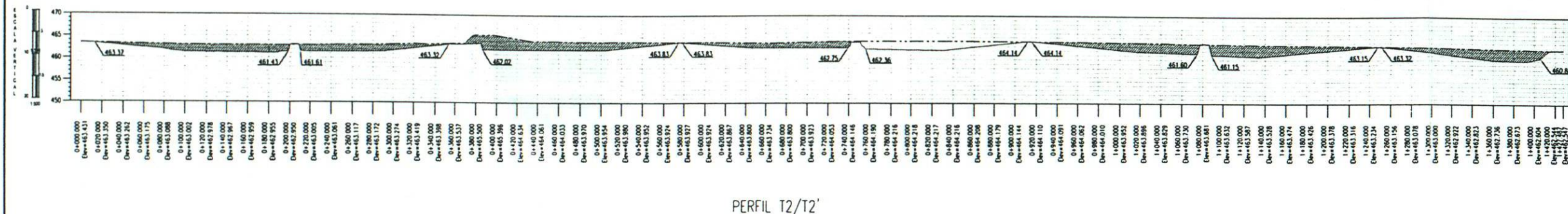
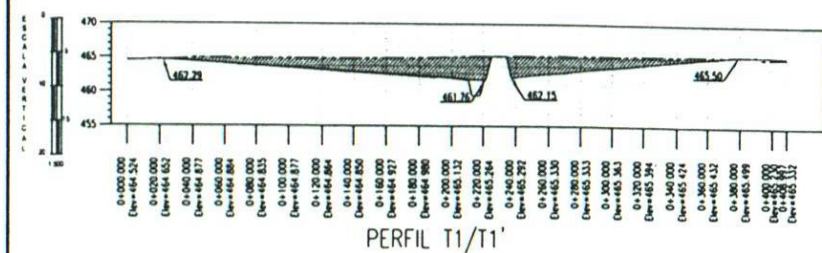
FECHA: FEBRERO / 2005	NOTACIONES: METROS	PROYECTO: 04
ESCALA: 1 : 2,000		
CLASE DE PLANO:		



SIMBOLOGIA	
	LINEA DE CORTE
	LINEA DE TERRENO NATURAL
	CORTE
	RELLENO
0+000.000	ESTACION
Elev=464.382	ELEVACION
456.25	NIVEL DE PISO TERMINADO

NOTAS	
LAS COORDENADAS "X,Y,Z" ESTAN LIGADAS AL SISTEMA U.T.M.	

PROYECTO:	DISEÑO DE RELLENO SANITARIO PRODESA	
UBICACION:	SALINAS VICTORIA, NUEVO LEON.	
PLANO:	PREPARACION DE TERRENO (PERFILES LONGITUDINAL-2)	
FECHA:	FEBRERO / 2005	ACOTACIONES: METROS
ESCALA GRAFICA:	1 : 2,000	PROYECTO: 1
CLASE DE PLANO:	No. DE PLANO: 05	



NOTAS

LAS COORDENADAS "X,Y,Z" ESTAN LIGADAS AL SISTEMA U.T.M.

PROYECTO: DISEÑO DE RELLENO SANITARIO PRODESA

UBICACION: SALINAS VICTORIA, NUEVO LEON.

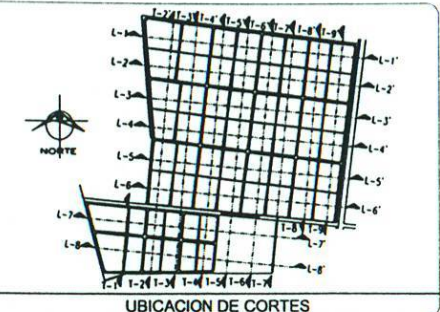
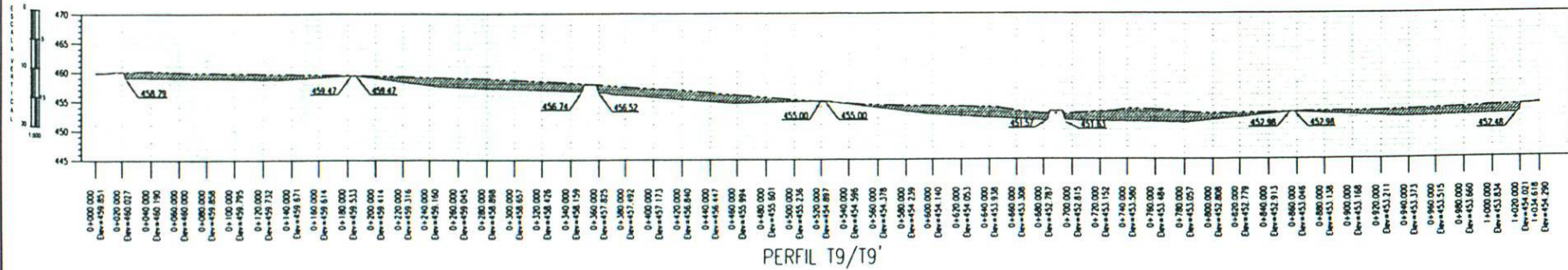
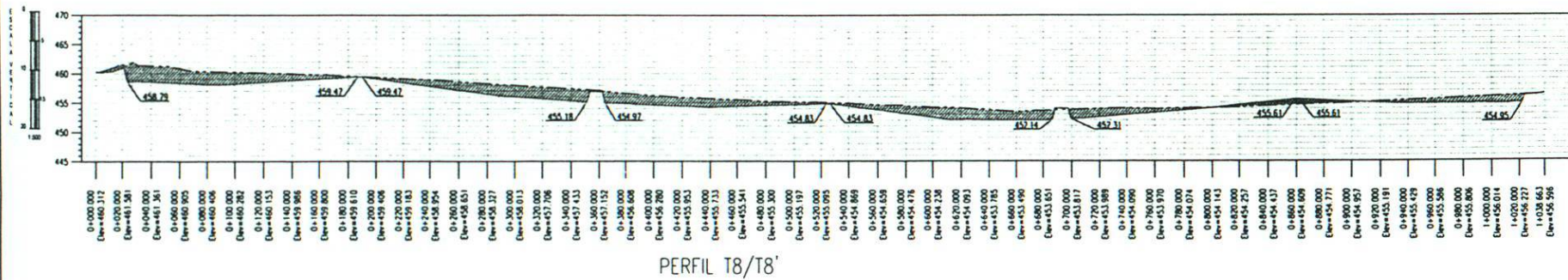
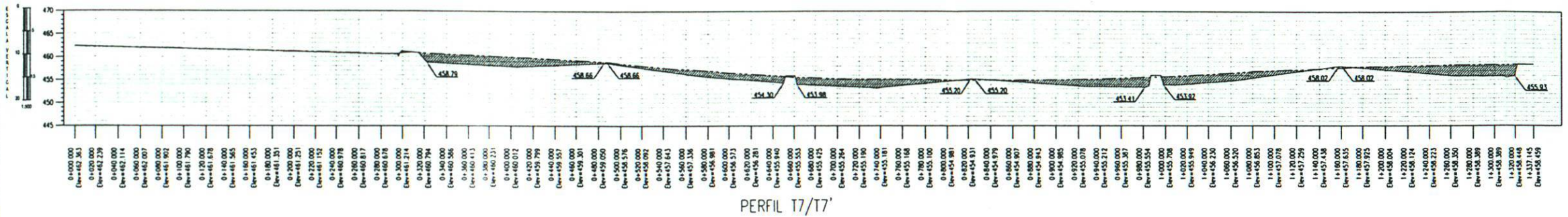
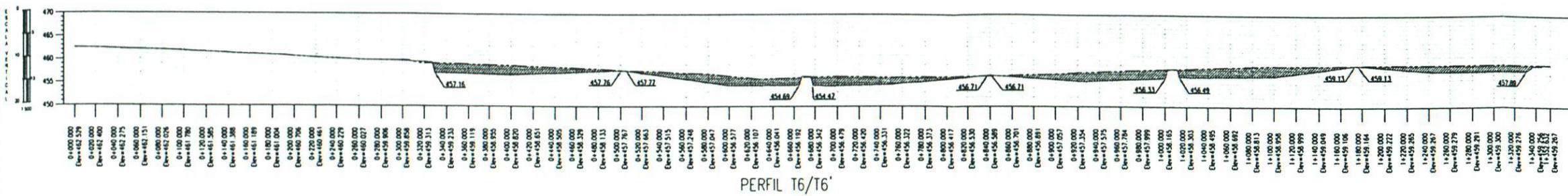
PLANO: PREPARACION DE TERRENO (PERFILES TRANSVERSAL-3)

FECHA: FEBRERO / 2005

ESCALA: 1 : 2,000

CLAVE DE PLANO: 06





SIMBOLOGIA

- LINEA DE CORTE
- LINEA DE TERRENO NATURAL
- CORTE
- RELLENO
- ESTACION
- ELEVACION
- NIVEL DE PISO TERMINADO

NOTAS

LOS TALUDES DE CORTE PARA TODAS LAS CELDAS SERAN 1:1
ECEPTO AQUELLOS QUE POR SU COMPLEJIDAD REQUIERA OTRA
PROPORCION.

PROYECTO: DISEÑO DE RELLENO SANITARIO PRODESA

UBICACION: SALINAS VICTORIA, NUEVO LEON.

PLANO: PREPARACION DE TERRENO (PERFILES TRANSVERSAL-2)

FECHA: FEBRERO / 2005

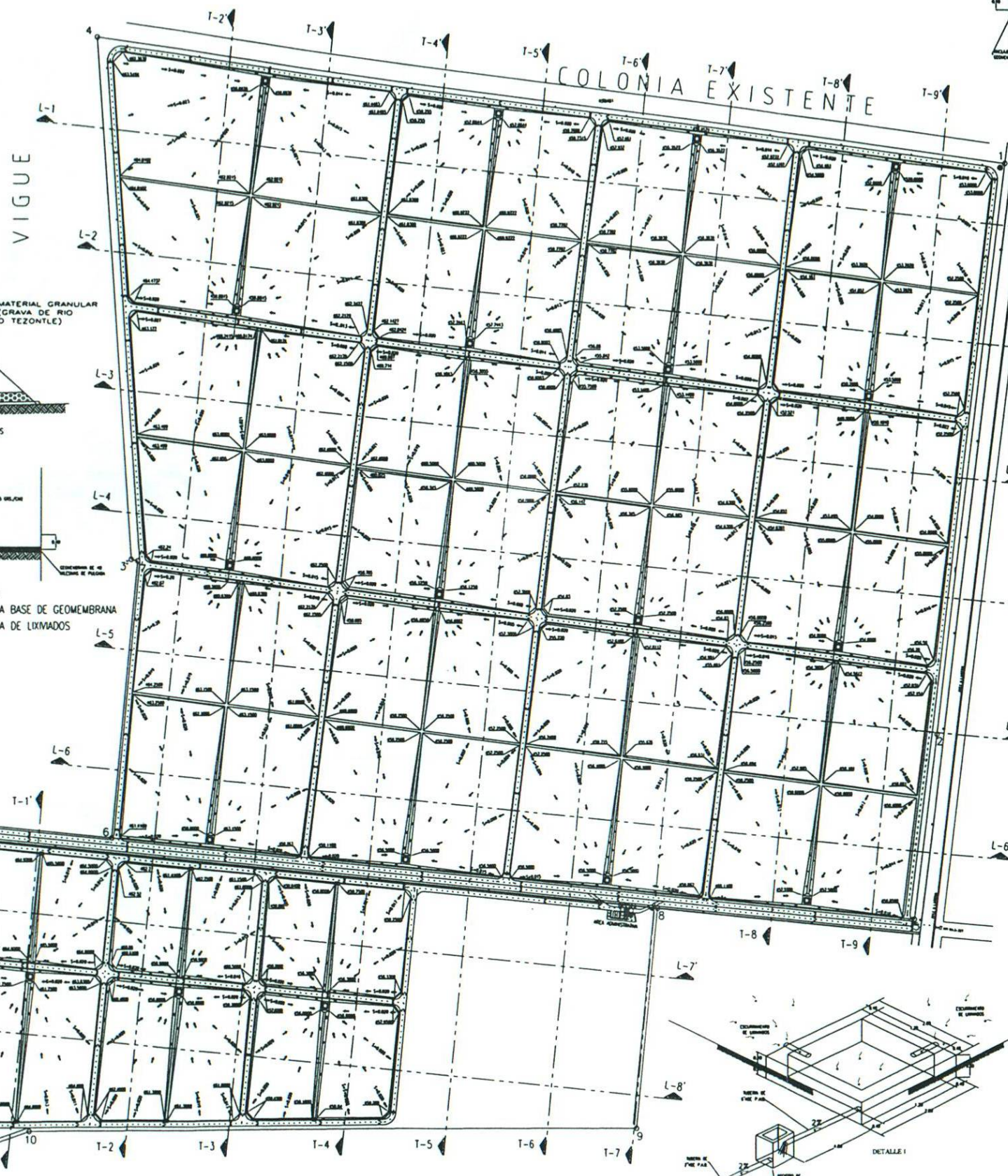
ESCALA: 1 : 2,000

CLAVE DE PLANO: 07

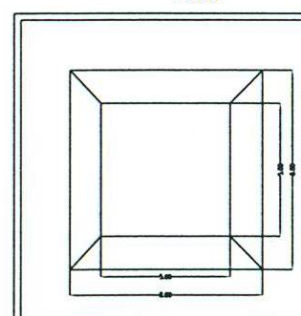
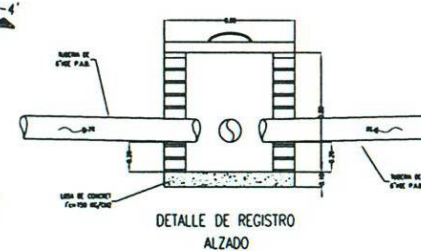
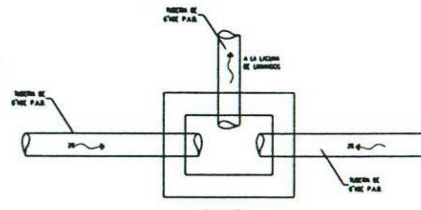
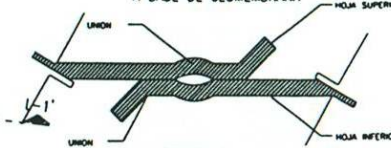
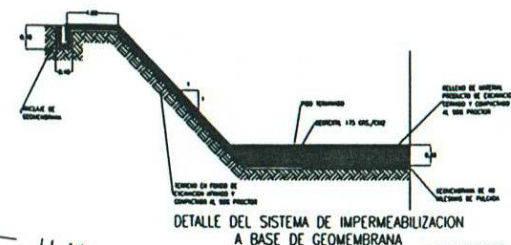


NORTE

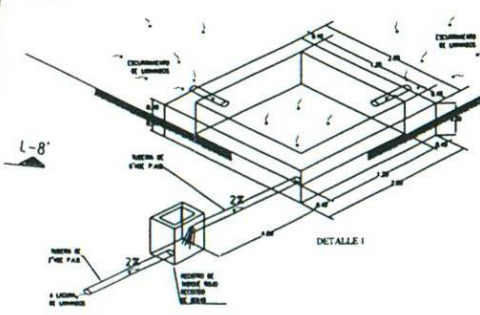
VIGUE



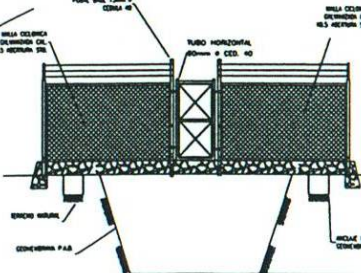
SIMEPRODE



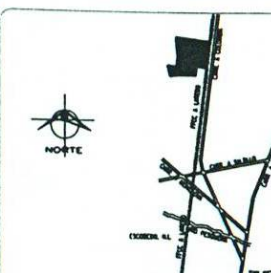
PLANTA



DETALLE DE ESTANQUE DE CONCENTRACION DE LIXIVIADOS



DETALLE DE LAGUNA DE LIXIVIADOS VISTA LATERAL



CROQUIS DE LOCALIZACION

SIMBOLOGIA

- L-3 L3 LINEA DE CORTE
- 27 VERTICE
- POLIGONAL
- TALUD
- CERCA
- CUNETTA
- DIRECCION DE FLUJO Y PENDIENTE EN CUNETTA
- DIRECCION DE FLUJO Y PENDIENTE EN PLATAFORMAS
- POZO DE MONITOREO DE AGUAS SUBTERRANEAS
- POZO DE MONITOREO DE BIOGAS
- LAGUNA DE EVAPORACION DE LIXIVIADOS
- CAMINO
- FLECHA DE DIRECCION

NOTAS

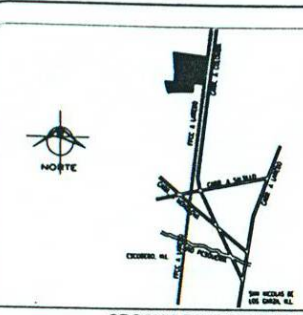
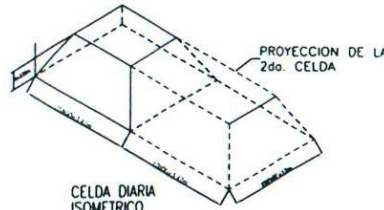
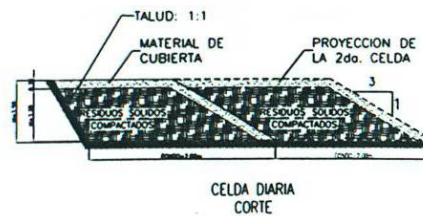
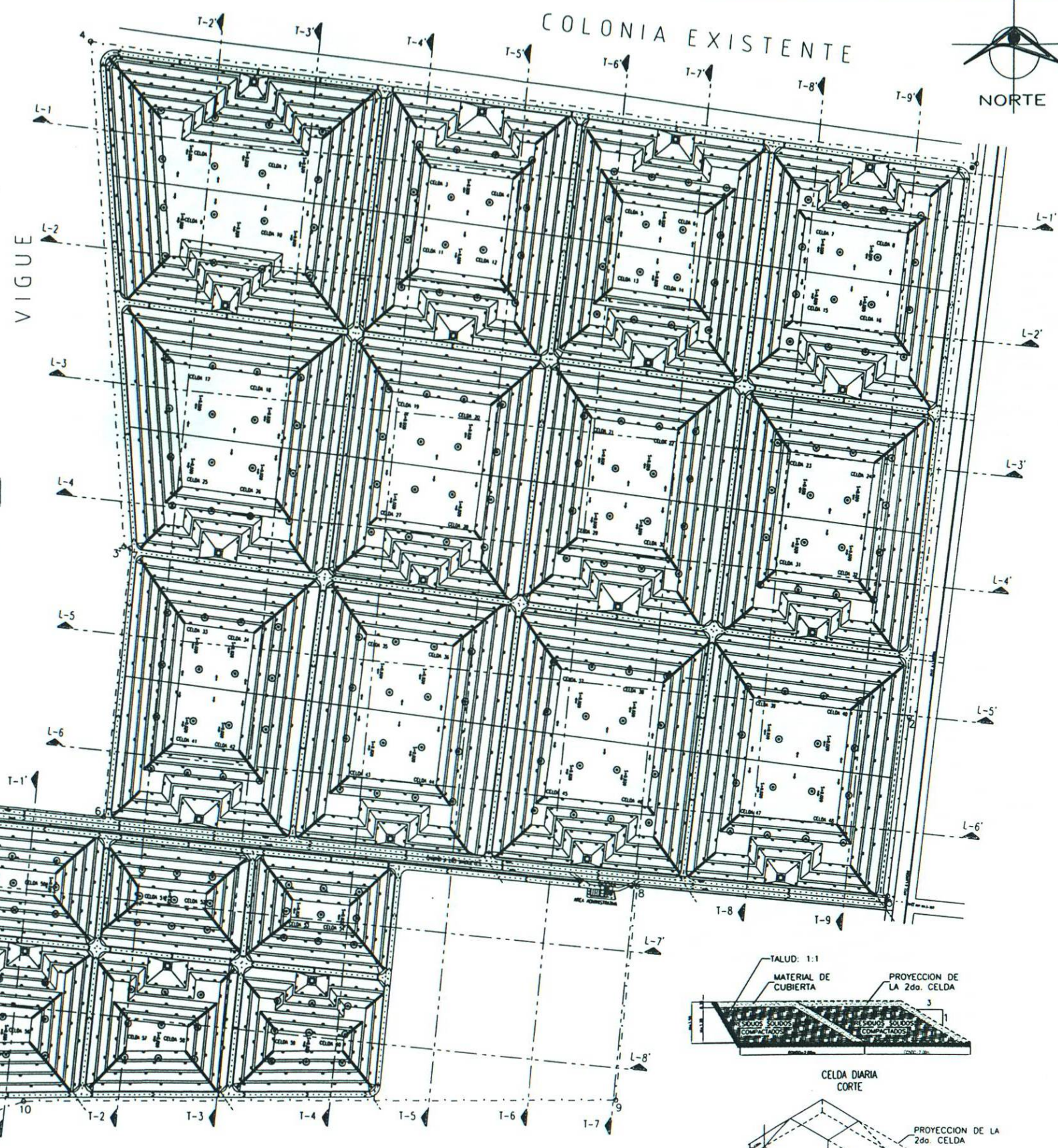
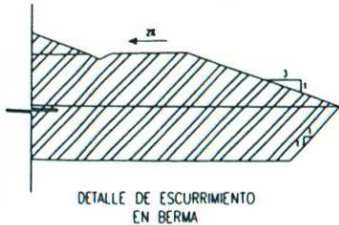
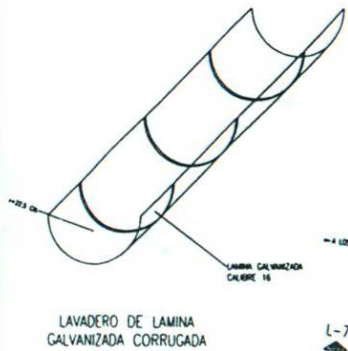
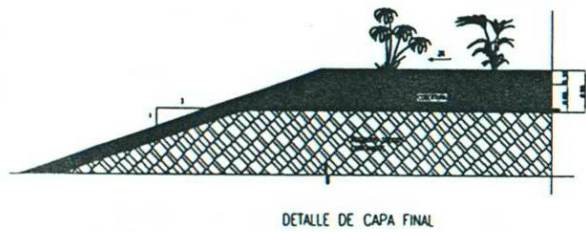
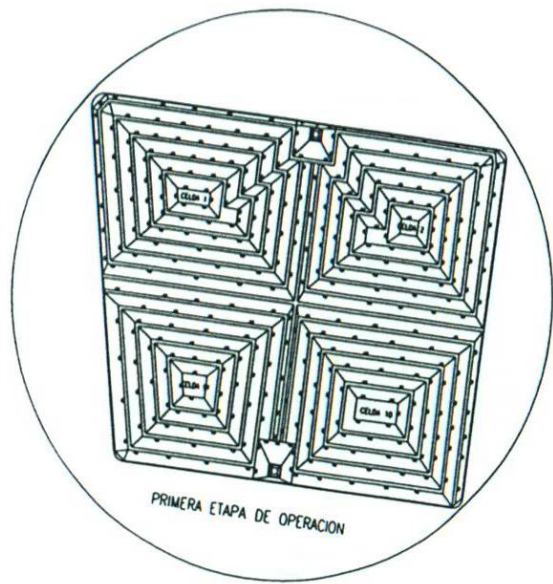
* LOS TALUDES DE CORTE SERAN SIEMPRE EN PROPORCION 1:1
* LOS NIVELES DE DESPLANTE MARCADO SON DE PISO TERMINADO LISTO PARA RECIBIR LOS RESIDUOS SOLIDOS VER DETALLE DE SISTEMA DE IMPERMEABILIZACION.
EL DETALLE DEL ESTANQUE DE CONCENTRACION DE LIXIVIADOS SE COLOCARAN EN LAS MACROCELAS QUE NO TIENEN LAGUNA DE LIXIVIADOS.

DISEÑO DE RELLENO SANITARIO PRODESA

SALINAS VICTORIA, NUEVO LEON.

SISTEMA DE IMPERMEABILIZACION Y LAGUNA DE LIXIVIADOS (PLANTA)

FECHA: FEBRERO / 2005
Escala: 1 : 3,000
PROYECTO: METROS
No. DE PLANO: 08



SIMBOLOGIA

	LINEA DE CORTE
	VERTICE
	POLIGONAL
	TALUD
	CERCA
	CUNETA
	DIRECCION DE FLUJO Y PENDIENTE EN CUNETA
	DIRECCION DE FLUJO Y PENDIENTE EN PLATAFORMAS
	LAVADERO METALICO CORRUGADO
	POZO PARA VENTEO DE BIOGAS
	POZO DE MONITOREO DE AGUAS SUBTERRANEAS
	POZO DE MONITOREO DE BIOGAS
	LAGUNA DE EVAPORACION DE LIXIVIADOS
	CAMINO
	FLECHA DE DIRECCION

NOTAS

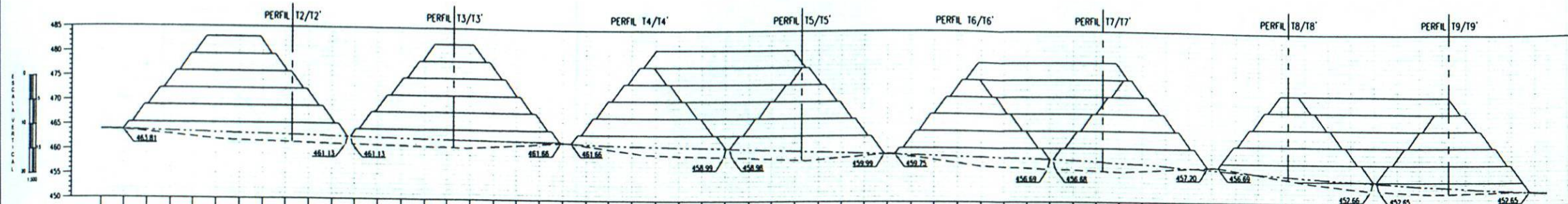
LOS TALUDES DE CONFORMACION SERAN SIEMPRE EN PROPORCION 3:1

PROYECTO: DISEÑO DE RELLENO SANITARIO PRODESA

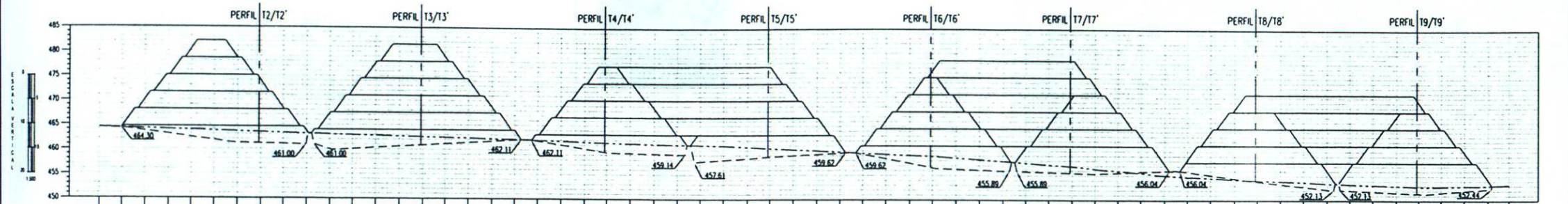
UBICACION: SALINAS VICTORIA, NUEVO LEON.

PLANO: ETAPAS DE OPERACION, CONFIGURACION FINAL (PLANTA)

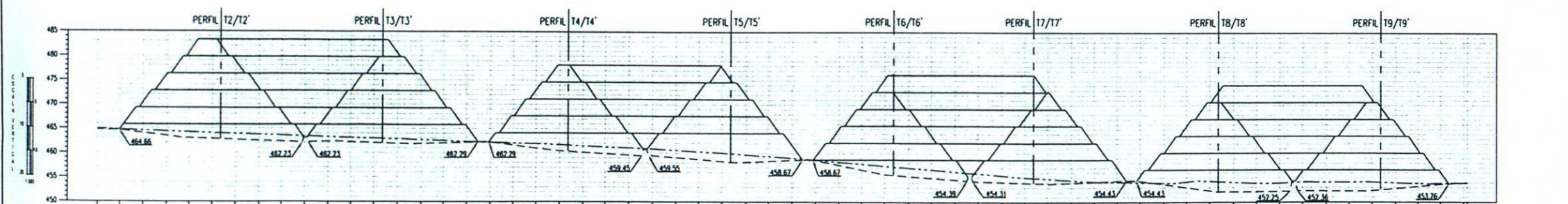
FECHA: FEBRERO / 2005
 ESCRITURA: 1 : 3,000
 CLAVE DE PLANO: 09



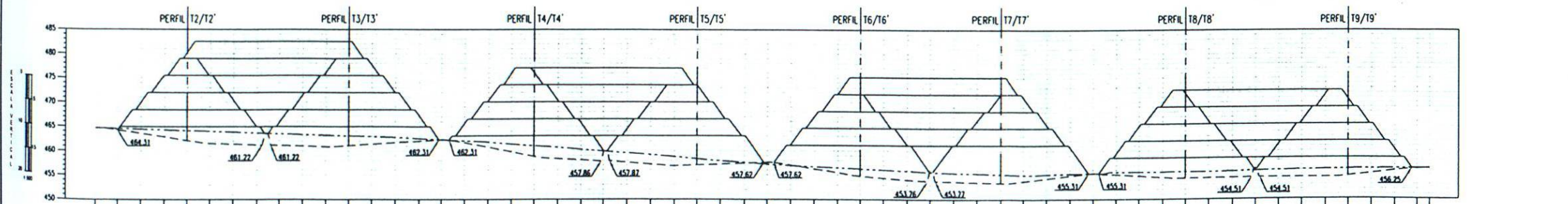
PERFIL L-1/L1'



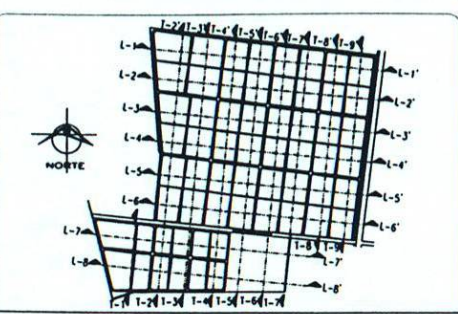
PERFIL L-2/L2'



PERFIL L3/L3'



PERFIL L4/L4'



SIMBOLOGIA

- LINEA DE CORTE
- LINEA DE TERRENO NATURAL
- CORTE
- RELLENO
- 0+000.000 ESTACION
- Elev=464.382 ELEVACION
- 456.75/ NIVEL DE PISO TERMINADO

NOTAS

LOS TALUDES DE DESPLANTE PARA TODAS LAS PLATAFORMAS SERAN 3:1

PROYECTO: DISEÑO DE RELLENO SANITARIO PRODESA

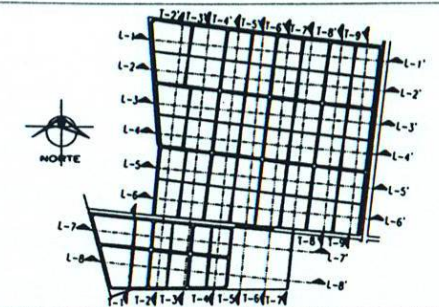
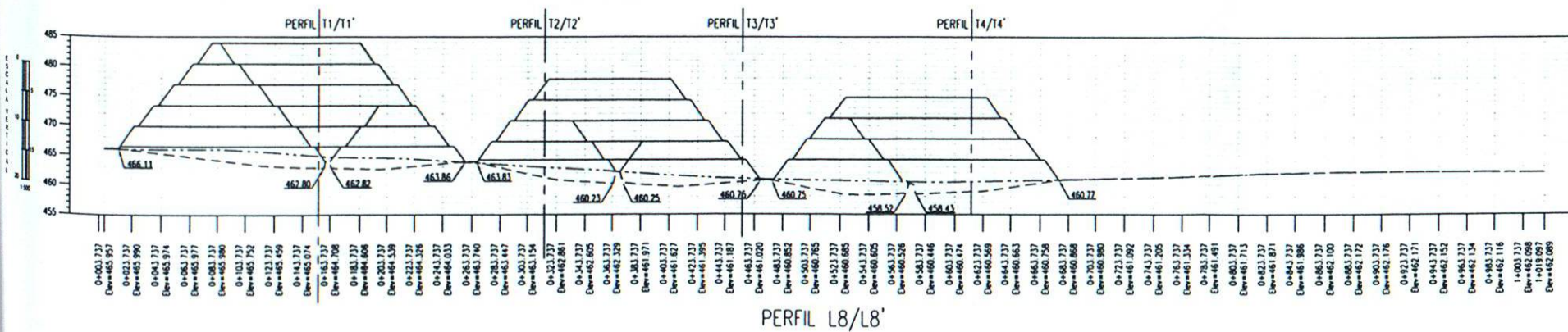
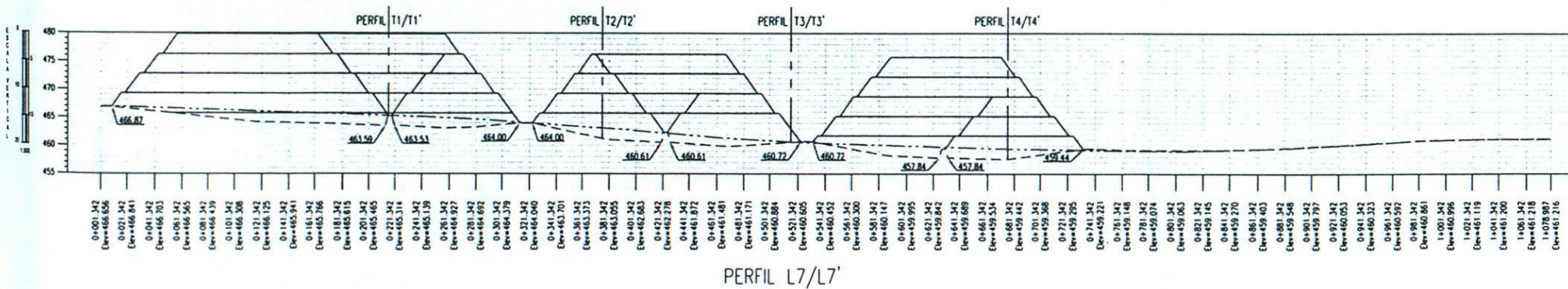
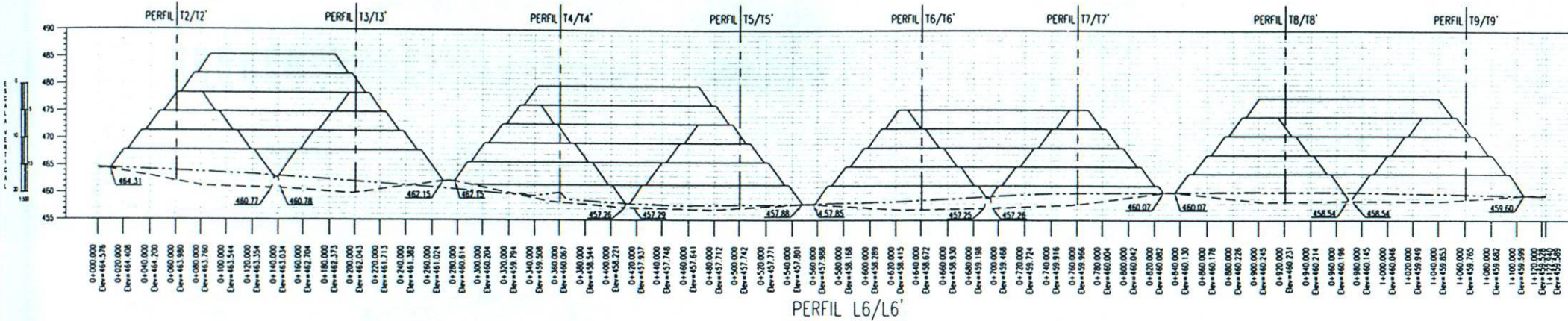
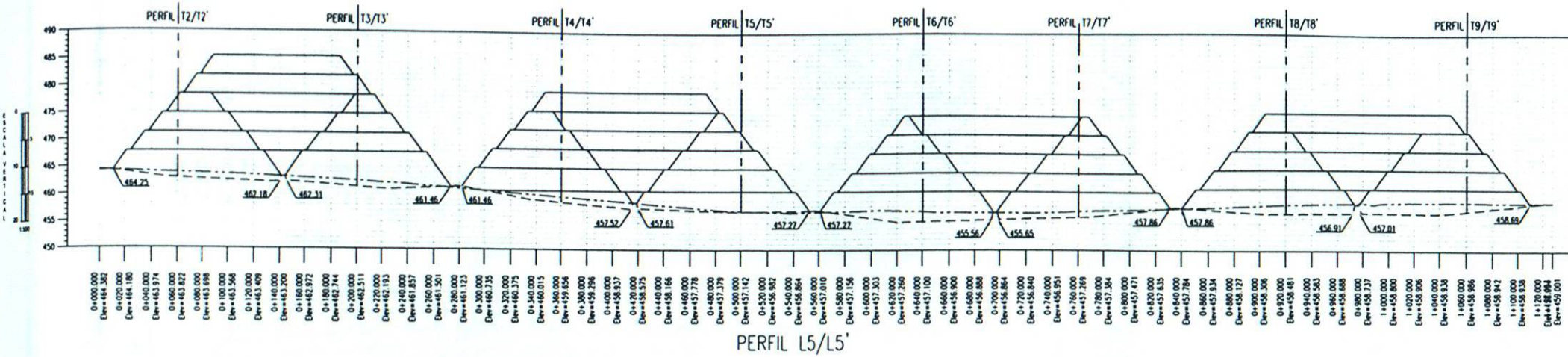
UBICACION: SALINAS VICTORIA, NUEVO LEON.

PLANO: PREPARACION DE TERRENO (PERFILES LONGITUDINAL-1)

FECHA: FEBRERO / 2005

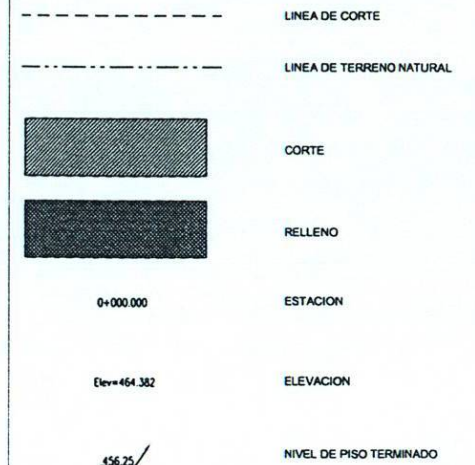
ESCALA: 1 : 2,000

CLAVE DE PLANO: 10



UBICACION DE CORTES

SIMBOLOGIA



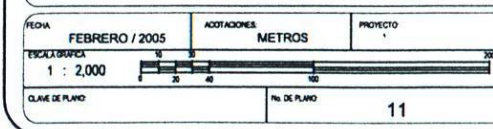
NOTAS

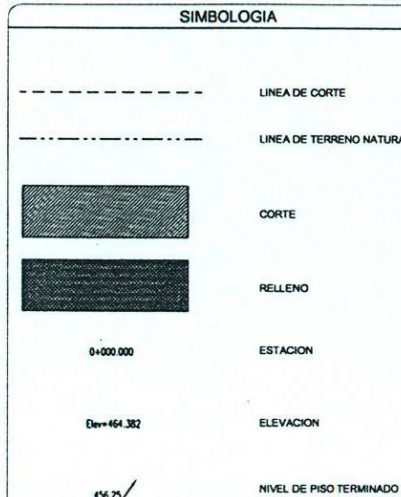
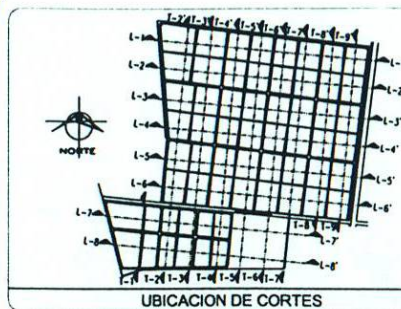
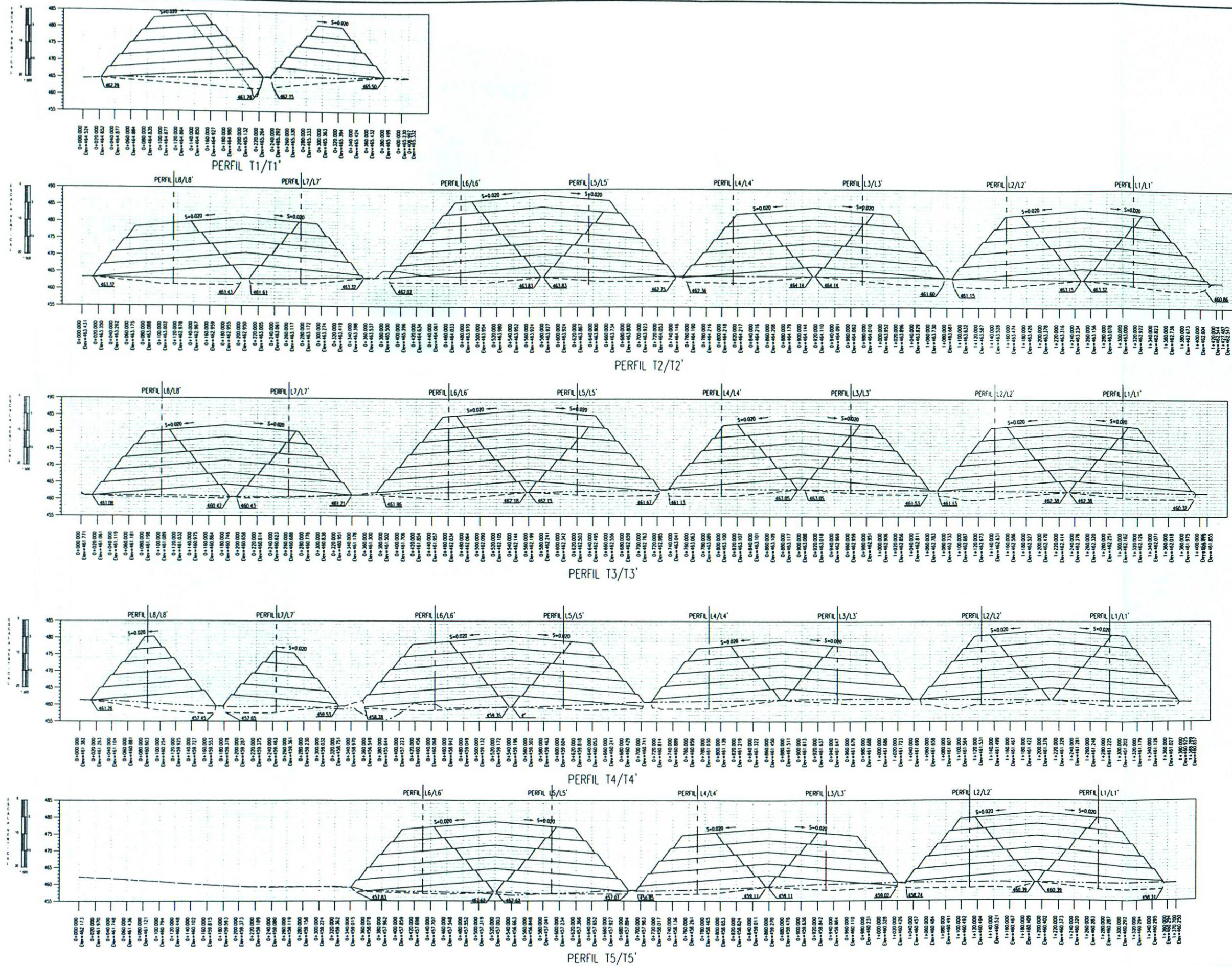
LOS TALUDES DE DESPLANTE PARA TODAS LAS PLATAFORMAS SERAN 3:1

PROYECTO: DISEÑO DE RELLENO SANITARIO PRODESA

UBICACION: SALINAS VICTORIA, NUEVO LEON.

PLANO: PREPARACION DE TERRENO (PERFILES LONGITUDINAL-2)





NOTAS

LOS TALUDES DE DESPLANTE PARA TODAS LAS PLATAFORMAS SERAN 3:1

PROYECTO

DISEÑO DE RELLENO SANITARIO PRODESA

UBICACION

SALINAS VICTORIA, NUEVO LEON.

PLANO

PREPARACION DE TERRENO (PERFILES TRANSVERSAL-3)

FECHA

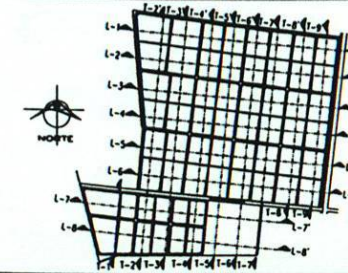
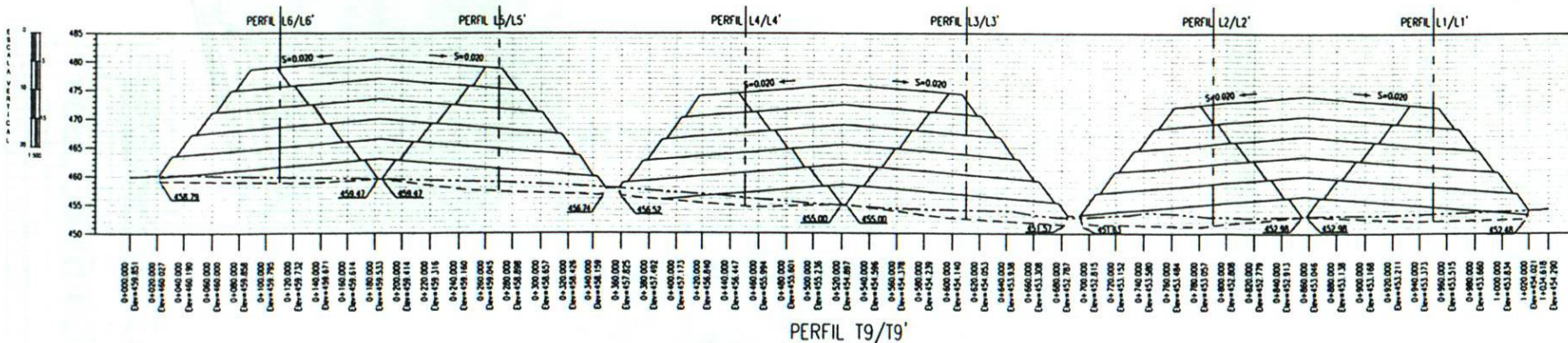
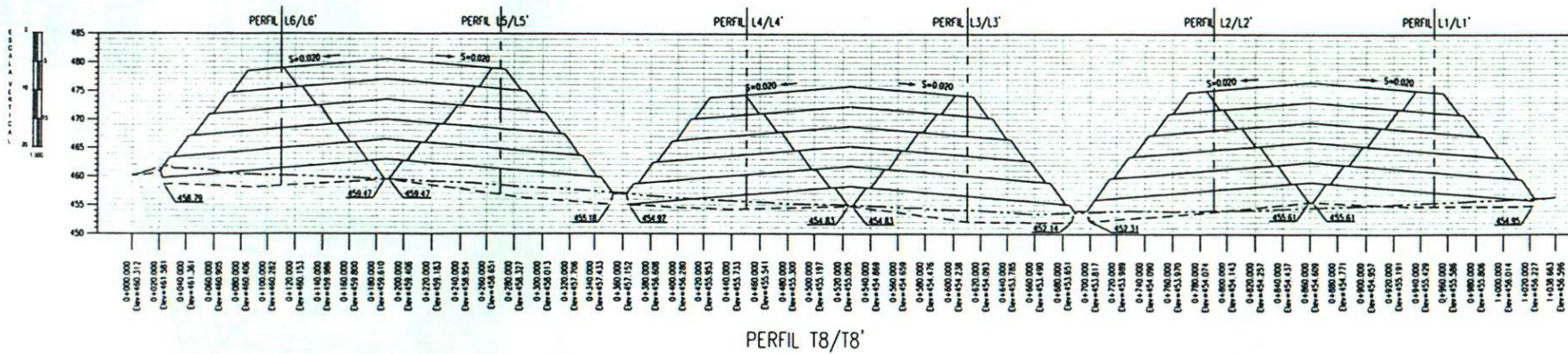
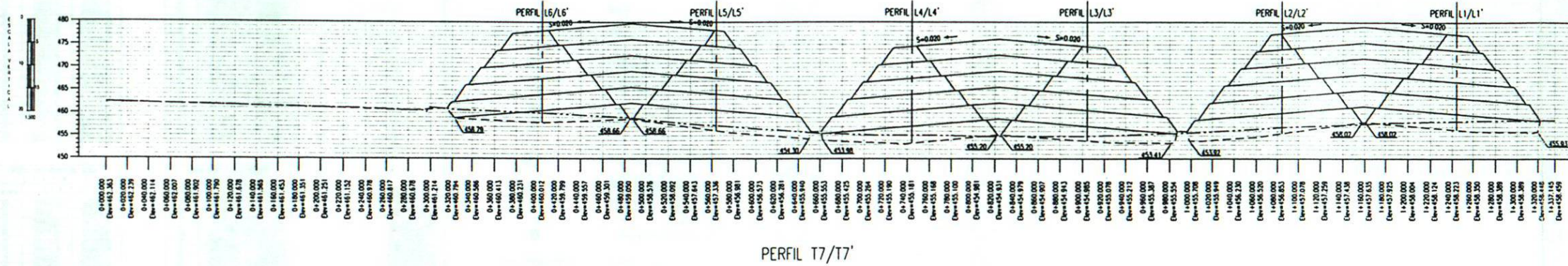
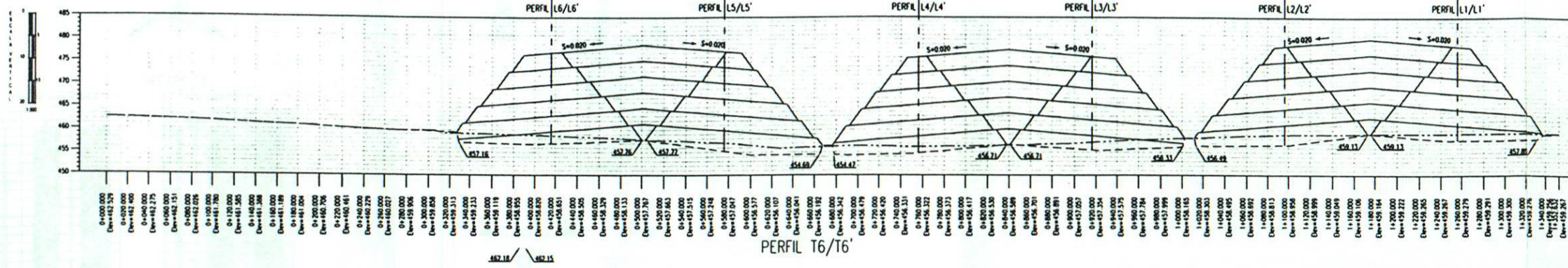
FEBRERO / 2005

PROYECTISTA

1 : 2,000

CLASE DE PLANO

12



SIMBOLOGIA

---	LINEA DE CORTE
---	LINEA DE TERRENO NATURAL
[Hatched Box]	CORTE
[Solid Black Box]	RELLENO
0+000.000	ESTACION
Elev=464.382	ELEVACION
456.25	NIVEL DE PISO TERMINADO

NOTAS

LOS TALUDES DE DESPLANTE PARA TODAS LAS PLATAFORMAS SERAN 3:1

PROYECTO: DISEÑO DE RELLENO SANITARIO PRODESA

UBICACION: SALINAS VICTORIA, NUEVO LEON.

PLANO: PREPARACION DE TERRENO (PERFILES TRANSVERSAL-4)

FECHA: FEBRERO / 2005
 ESCALA: 1 : 2,000
 METROS
 PROYECTO: 13

COLONIA EXISTENTE



POZOS PARA VENTEO DE BIOGAS
ETAPA 1

N.º DE POZO	COORDENADA
1	309545.71
2	309545.71
3	309545.71
4	309545.71
5	309545.71
6	309545.71
7	309545.71
8	309545.71
9	309545.71
10	309545.71
11	309545.71
12	309545.71
13	309545.71
14	309545.71
15	309545.71
16	309545.71

POZOS PARA VENTEO DE BIOGAS
ETAPA 2

N.º DE POZO	COORDENADA
17	309545.71
18	309545.71
19	309545.71
20	309545.71
21	309545.71
22	309545.71
23	309545.71
24	309545.71
25	309545.71
26	309545.71
27	309545.71
28	309545.71
29	309545.71
30	309545.71
31	309545.71
32	309545.71

POZOS PARA VENTEO DE BIOGAS
ETAPA 3

N.º DE POZO	COORDENADA
33	309545.71
34	309545.71
35	309545.71
36	309545.71
37	309545.71
38	309545.71
39	309545.71
40	309545.71
41	309545.71
42	309545.71
43	309545.71
44	309545.71
45	309545.71
46	309545.71
47	309545.71
48	309545.71

POZOS PARA VENTEO DE BIOGAS
ETAPA 4

N.º DE POZO	COORDENADA
49	309545.71
50	309545.71
51	309545.71
52	309545.71
53	309545.71
54	309545.71
55	309545.71
56	309545.71
57	309545.71
58	309545.71
59	309545.71
60	309545.71
61	309545.71
62	309545.71
63	309545.71
64	309545.71

POZOS PARA VENTEO DE BIOGAS
ETAPA 5

N.º DE POZO	COORDENADA
65	309545.71
66	309545.71
67	309545.71
68	309545.71
69	309545.71
70	309545.71
71	309545.71
72	309545.71
73	309545.71
74	309545.71
75	309545.71
76	309545.71
77	309545.71
78	309545.71
79	309545.71
80	309545.71

POZOS PARA VENTEO DE BIOGAS
ETAPA 6

N.º DE POZO	COORDENADA
81	309545.71
82	309545.71
83	309545.71
84	309545.71
85	309545.71
86	309545.71
87	309545.71
88	309545.71
89	309545.71
90	309545.71
91	309545.71
92	309545.71
93	309545.71
94	309545.71
95	309545.71
96	309545.71

POZOS PARA VENTEO DE BIOGAS
ETAPA 7

N.º DE POZO	COORDENADA
97	309545.71
98	309545.71
99	309545.71
100	309545.71
101	309545.71
102	309545.71
103	309545.71
104	309545.71
105	309545.71
106	309545.71
107	309545.71
108	309545.71
109	309545.71
110	309545.71
111	309545.71
112	309545.71

POZOS PARA VENTEO DE BIOGAS
ETAPA 8

N.º DE POZO	COORDENADA
113	309545.71
114	309545.71
115	309545.71
116	309545.71
117	309545.71
118	309545.71
119	309545.71
120	309545.71
121	309545.71
122	309545.71
123	309545.71
124	309545.71
125	309545.71
126	309545.71
127	309545.71
128	309545.71

POZOS PARA VENTEO DE BIOGAS
ETAPA 9

N.º DE POZO	COORDENADA
129	309545.71
130	309545.71
131	309545.71
132	309545.71
133	309545.71
134	309545.71
135	309545.71
136	309545.71
137	309545.71
138	309545.71
139	309545.71
140	309545.71
141	309545.71
142	309545.71
143	309545.71
144	309545.71

POZOS PARA VENTEO DE BIOGAS
ETAPA 10

N.º DE POZO	COORDENADA
145	309545.71
146	309545.71
147	309545.71
148	309545.71
149	309545.71
150	309545.71
151	309545.71
152	309545.71
153	309545.71
154	309545.71
155	309545.71
156	309545.71
157	309545.71
158	309545.71
159	309545.71
160	309545.71

POZOS PARA VENTEO DE BIOGAS
ETAPA 11

N.º DE POZO	COORDENADA
161	309545.71
162	309545.71
163	309545.71
164	309545.71
165	309545.71
166	309545.71
167	309545.71
168	309545.71
169	309545.71
170	309545.71
171	309545.71
172	309545.71
173	309545.71
174	309545.71
175	309545.71
176	309545.71

POZOS PARA VENTEO DE BIOGAS
ETAPA 12

N.º DE POZO	COORDENADA
177	309545.71
178	309545.71
179	309545.71
180	309545.71
181	309545.71
182	309545.71
183	309545.71
184	309545.71
185	309545.71
186	309545.71
187	309545.71
188	309545.71
189	309545.71
190	309545.71
191	309545.71
192	309545.71

POZOS PARA VENTEO DE BIOGAS
ETAPA 13

N.º DE POZO	COORDENADA
193	309545.71
194	309545.71
195	309545.71
196	309545.71
197	309545.71
198	309545.71
199	309545.71
200	309545.71
201	309545.71
202	309545.71
203	309545.71
204	309545.71
205	309545.71
206	309545.71
207	309545.71
208	309545.71

POZOS PARA VENTEO DE BIOGAS
ETAPA 14

N.º DE POZO	COORDENADA
209	309545.71
210	309545.71
211	309545.71
212	309545.71
213	309545.71
214	309545.71
215	309545.71
216	309545.71
217	309545.71
218	309545.71
219	309545.71
220	309545.71
221	309545.71
222	309545.71

POZOS PARA VENTEO DE BIOGAS
ETAPA 15

N.º DE POZO	COORDENADA
223	309545.71
224	309545.71
225	309545.71
226	309545.71
227	309545.71
228	309545.71
229	309545.71
230	309545.71
231	309545.71
232	309545.71
233	309545.71
234	309545.71
235	309545.71
236	309545.71
237	309545.71
238	309545.71

POZOS PARA VENTEO DE BIOGAS
ETAPA 16

N.º DE POZO	COORDENADA
239	309545.71
240	309545.71
241	309545.71
242	309545.71
243	309545.71
244	309545.71
245	309545.71
246	309545.71
247	309545.71
248	309545.71
249	309545.71
250	309545.71
251	309545.71
252	309545.71
253	309545.71
254	309545.71

POZO DE AGUAS SUBTERRANEAS

N.º DE POZO	COORDENADA
01	309545.71
02	309545.71

POZOS PARA VENTEO DE BIOGAS
ETAPA 17

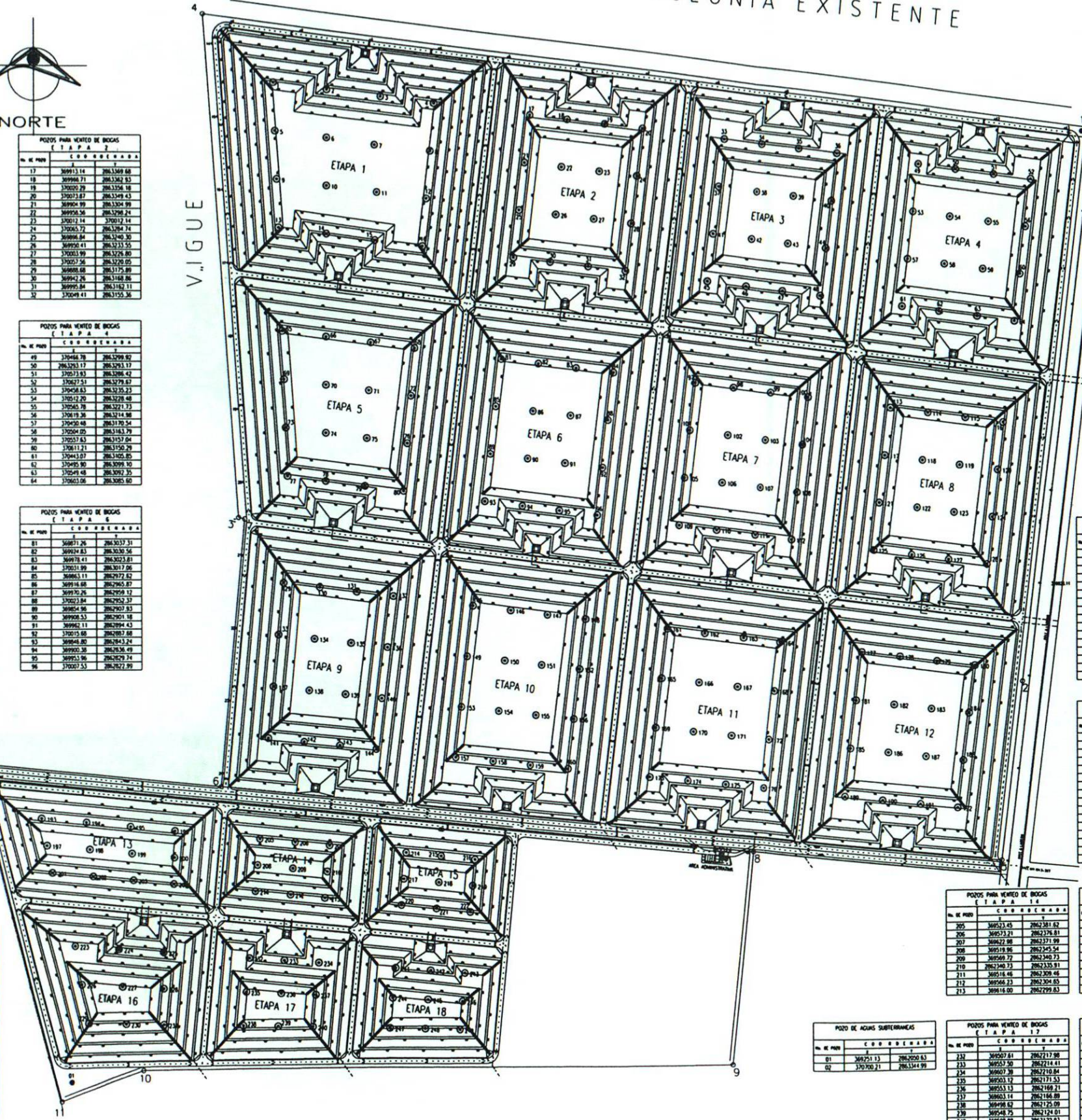
N.º DE POZO	COORDENADA
255	309545.71
256	309545.71
257	309545.71
258	309545.71
259	309545.71
260	309545.71
261	309545.71
262	309545.71
263	309545.71
264	309545.71
265	309545.71
266	309545.71
267	309545.71
268	309545.71
269	309545.71
270	309545.71

POZOS PARA VENTEO DE BIOGAS
ETAPA 18

N.º DE POZO	COORDENADA
271	309545.71
272	309545.71
273	309545.71
274	309545.71
275	309545.71
276	309545.71
277	309545.71
278	309545.71
279	309545.71
280	309545.71
281	309545.71
282	309545.71
283	309545.71
284	309545.71
285	309545.71
286	309545.71

POZOS PARA MONITOREO DE BIOGAS

N.º DE POZO	COORDENADA
1	309545.71
2	309545.71
3	309545.71
4	309545.71
5	309545.71
6	309545.71
7	309545.71
8	309545.71
9	309545.71
10	309545.71
11	309545.71
12	309545.71
13	309545.71
14	309545.71
15	309545.71
16	309545.71
17	309545.71
18	309545.71
19	309545.71
20	309545.71
21	309545.71
22	309545.71
23	309545.71
24	309545.71



MOYTE

CROQUIS DE LOCALIZACION

SIMBOLOGIA

- LINEA DE CORTE
- VERTICE
- POLIGONAL
- TALUD
- CERCA
- CUNETA
- DIRECCION DE FLUJO Y PENDIENTE EN CUNETAS
- DIRECCION DE FLUJO Y PENDIENTE EN PLATAFORMAS
- LAVADERO METALICO CORRUGADO
- POZO PARA VENTEO DE BIOGAS
- POZO DE MONITOREO DE AGUAS SUBTERRANEAS
- POZO DE MONITOREO DE BIOGAS
- LAGUNA DE EVAPORACION DE LIXIVIADOS
- CAMINO
- FLECHA DE DIRECCION

NOTAS

VER LOS DETALLES DE POZOS EN PLANO 15 (DETALLES DE POZO)

PROYECTO: DISEÑO DE RELLENO SANITARIO PRODESA

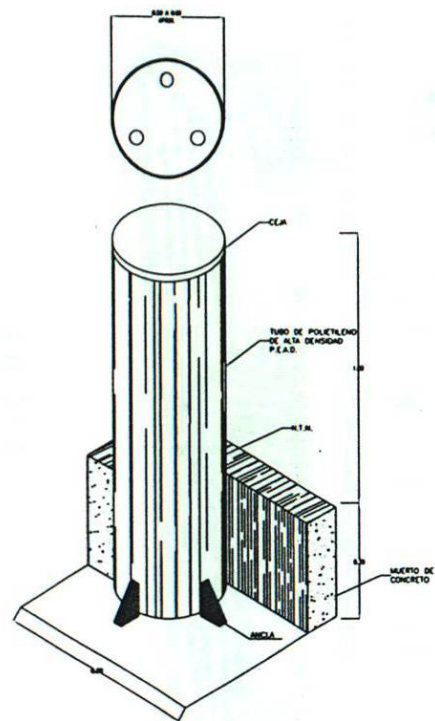
UBICACION: SALINAS VICTORIA, NUEVO LEON.

PLANO: LOCALIZACION Y DISTRIBUCION DE POZO PARA VENTEO, MONITOREO DE BIOGAS Y AGUAS SUBTERRANEAS

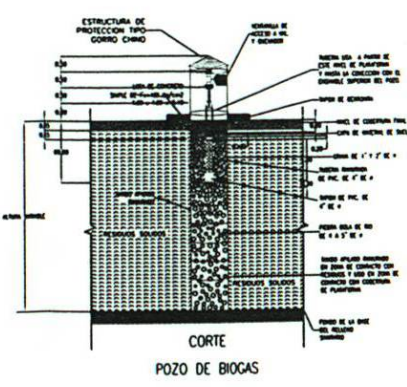
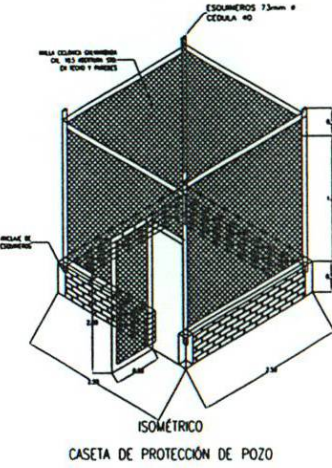
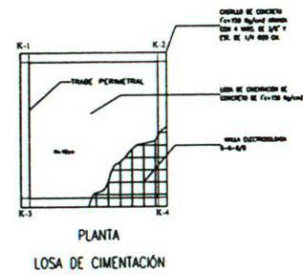
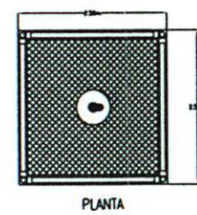
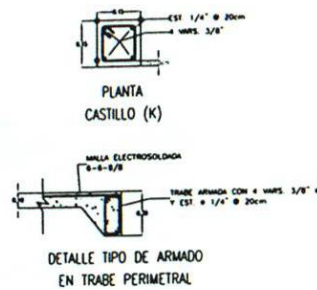
FECHA: FEBRERO / 2005

ESCALA: 1 : 3,000

CLAVE DE PLANO: 14



REGISTRO DE PROTECCION
ACOT. MTS. SIN ESCALA



PARA LA CONSTRUCCION DE LOS POZOS DE BIOGAS SE REQUIERE DE LOS SIGUIENTES TRABAJOS:

PERFORACION DEL POZO, HABILITACION DE LA TUBERIA Y EQUIPAMIENTO DEL POZO.

1.- EL EQUIPO Y HERRAMIENTA PARA LA PERFORACION Y EQUIPAMIENTO DE LOS POZOS DE MONITOREO ES:

A) PERFORADORA MECANICA HELICOIDAL DE 4" Ø

B) COMPRESOR PARA LA EXTRACCION DEL PRODUCTO DE LA PERFORACION NO ES RECOMENDABLE UTILIZAR AGUA PARA LA EXTRACCION DEL INTERIOR, DEBIDO A LA DIFICULTAD QUE IMPLICA EL EQUIPAMIENTO DEL POZO COMO SE MUESTRA.

C) HERRAMIENTA DE ALAMBRE COMO REVOLVERA, CARNETILLAS, FILAS, FILAS, BOTES, CUBIERTA PARA LA BASE DEL REGISTRO, CUCHARA, FLEXOMETRO, ETC.

2.- EL MATERIAL UTILIZADO PARA EL EQUIPAMIENTO DE LOS POZOS DE MONITOREO ES:

A) CONCRETO F'c= 150 kg/cm² CON LAS SIGUIENTES PROPORCIONES 1-4-8 PARA EL SELLO O TAPON

B) MATERIAL IMPERMEABILIZANTE TIPO BITUMAS O GRASA 3/4" Ø

C) TUBERIA DE P.V.C. DE 2" Ø

D) TUBERIA DE P.V.C. DE 4" Ø

E) MALLAS Y CONEXIONES DE P.V.C. DE 2" Ø

F) REGISTRO CILINDRICO METALICO DE 0.30mts. DE Ø Y 1 MT. DE LONGITUD CONSTRUIDO SOBRE DISEÑO POR NO SER COMERCIAL.

3.- PERFORACION DE LOS POZOS

A) UBICADOS LOS PUNTOS DONDE SE PLANEAN CONSTRUIR LOS POZOS DE MONITOREO, EN BASE A LA GEOGRAFIA, TOPOGRAFIA Y LA UBICACION DE LA ZONA, SE PROCEDE A EFECTUAR LA PERFORACION DE LOS POZOS, VER PLANO DET-01

B) LOS POZOS SE PERFORAN DE 0.5 A 0.8 MTS. DE Ø Y A UNA PROFUNDIDAD IGUAL AL ESP. DE LOS ESTRATOS DE LOS DESECHOS SOLIDOS COMINADOS O HASTA EL NIVEL DONDE SE DETECTAN LAS COQUELICAS O FRACCIONES.

C) DURANTE EL PROCESO DE PERFORACION SI ES NECESARIO SE ADEMA EL POZO CUANDO TIENDA A DERRUMBARSE, UTILIZANDO ASERTE METALICO Y RECOMENDABLE Y MARCA CON ALAMBRE TRASEMADO COMO EL LODO BIOMORFICO U OTRO MATERIAL QUE IMPERMEABILICE LAS PAREDES Y DESTRUYA EL FLUJO DE GASE.

4.- HABILITACION DE LOS DISPOSITIVOS DE MONITOREO

LOS DISPOSITIVOS DE MONITOREO ESTAN FORMADOS CADA UNO CON UNA PICHANCHA QUE ES UN TRAMO DE TUBO DE P.V.C. DE 1.0 M. DE LONGITUD POR 4" Ø UNIDO A OTRO DE 2" Ø DE Ø Y LONGITUD IGUAL A LA DEL POZO EN EL EXTREMO SUPERIOR DE ESTE DISPOSITIVO SE COLOCARA UNA VALVULA DE PASO PARA EL CONTROL DE SALIDA DEL BIOGAS. LA OPERACION SE EFECTUARA DE LA SIGUIENTE FORMA:

A) SALTACHANTE A LAS ACTIVIDADES DE PERFORACION DE POZOS, SE BARRERAN LAS PICHANCHAS DE CADA DISPOSITIVO, LOS BARREROS DEBERAN SER DE 3" Ø, APROX. COLOCADO EN CONFIGURACION TRIANGULAR.

B) SE ABANICAN LOS DISPOSITIVOS PARA MONITOREO, UNIENDO LAS PICHANCHAS CON LOS DUCTOS, UTILIZANDO REDUCCIONES Y CONEXIONES DEL MISMO MATERIAL (P.V.C.).

5.- EQUIPAMIENTO DEL POZO.

LOS POZOS SE EQUIPAN CON UN DISPOSITIVO (TUBO DE P.V.C. 2" Ø Y LONGITUD MINIMAL) Y MATERIAL PERMEABLE (FLEXOMETRO). EN EL EXTREMO EXTERIOR DE CADA DISPOSITIVO SE COLOCARA UNA PICHANCHA DE 1 M. DE LONGITUD Y 4" Ø PERFORADA EN CONFIGURACION TRIANGULAR UNIENDO CADA DISPOSITIVO EN LAS ZONAS DONDE SE CONSIDERE QUE HAY FLUJO DE BIOGAS. FINALMENTE EN EL EXTREMO SUPERIOR DE CADA DISPOSITIVO SE COLOCARA UNA VALVULA DE PASO PARA EL CONTROL DE SALIDA DEL BIOGAS, DICHA ESTRUCTURA SE DEBE PROTEGER CON UN TRAMO DE LONGITUD IGUAL A LA DEL POZO EN EL EXTREMO SUPERIOR DE ESTE DISPOSITIVO SE COLOCARA UNA VALVULA DE PASO PARA EL CONTROL DE SALIDA DEL BIOGAS. LA OPERACION SE EFECTUARA DE LA SIGUIENTE FORMA:

A) SE VERIFICA QUE EL POZO ESTE EN CONDICIONES PARA QUE SEA EQUIPADO, ES DECIR QUE TENGA LAS ESPECIFICACIONES, QUE NO SE ENCUENTRE ATASCADO, BLOQUEADO U OBSTRUIDO.

B) SE COLOCAN EN LA BASE DEL POZO UNA PLANTILLA DE 1.0 M. DE ESPESOR DE MATERIAL DE FILTRO (TELONCILLO O GRASA).

C) SE INTRODUCE EL TUBO, COMO SE MUESTRA EN EL ANEXO CORRESPONDIENTE.

D) SE COLOCA A VOLTEO UNA CAPA DE REJILLA ENTRE EL ESPACIO ANGULAR DEL DISPOSITIVO Y EL POZO, COMO ESPACIO DEBERA SER TAL QUE SE BODEE LA PICHANCHA 0.5M POR CADA Y 0.5M POR DEBAJO DE LA MISMA.

E) SE COLOCA MATERIAL DEL LUGAR, EL CUAL FORMA UN BLOQUE DE 0.30 M., QUE SIRVE PARA AISLAR LA CAMARA DE MONITOREO.

F) COLOCADO EL TUBO MONITOR, SE SELLA EL POZO CON MATERIAL DEL LUGAR COMPACTADO EN LA PARTE SUPERIOR, SOBRESALANDO EL EXTREMO DEL MONITOR EN EL CUAL SE INSTALA UNA VALVULA PARA EL CONTROL DEL MONITOR.

G) PARA LA PROTECCION DE LOS DISPOSITIVOS DE MONITOREO, SE COLOCA UN REGISTRO DE ACERO O PIERRO FUNDIDO, ANCLANDO EN UNA BASE DE CONCRETO, COMO SE VE EN EL ANEXO CORRESPONDIENTE.

PROYECTO: DISEÑO DE RELLENO SANITARIO PRODESA

UBICACION: SALINAS VICTORIA, NUEVO LEON.

PLANO: DETALLES DE POZOS (PLANTA)

FECHA: FEBRERO / 2005

ESCALA: 1 : 3,000

CLASE DE PLANO: 15

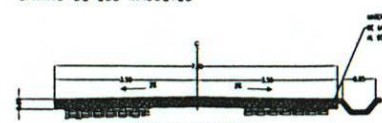


COLONIA EXISTENTE

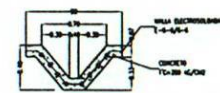
VIGUE



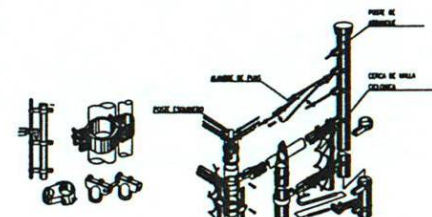
CAMINO DE ACCESO
CAMINO DE LOS MAGUEYES



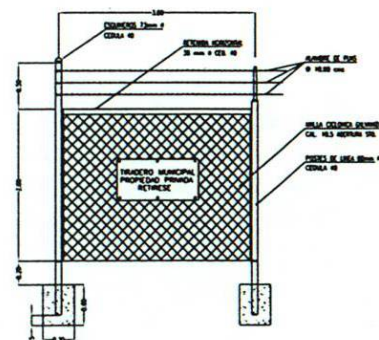
CAMINO PERIMETRAL



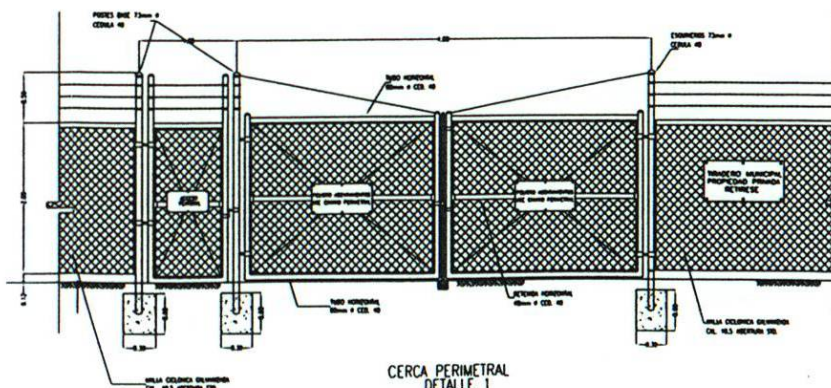
SECCION DE CUNETAS
PARA DRENAJE



HERRAJES



DETALLE DE POSTE TIPO



CERCA PERIMETRAL
DETALLE 1



CROQUIS DE LOCALIZACION

SIMBOLOGIA

L-3	LINEA DE CORTE
O ²⁷	VERTICE
	POLIGONAL
	TALUD
---	CERCA
---	CUNETAS
---	CAMINO
---	DIRECCION DE FLUJO Y PENDIENTE EN CUNETAS
---	DIRECCION DE FLUJO Y PENDIENTE EN PLATAFORMAS
○	POZO DE VENTEO DE BIOGAS
---	LAVADERO METALICO CORRUGADO

NOTAS

LOS TALUDES DE CORTE SERAN SIEMPRE 1:1

DISEÑO DE RELLENO SANITARIO
PRODESA

SALINAS VICTORIA, NUEVO LEON.

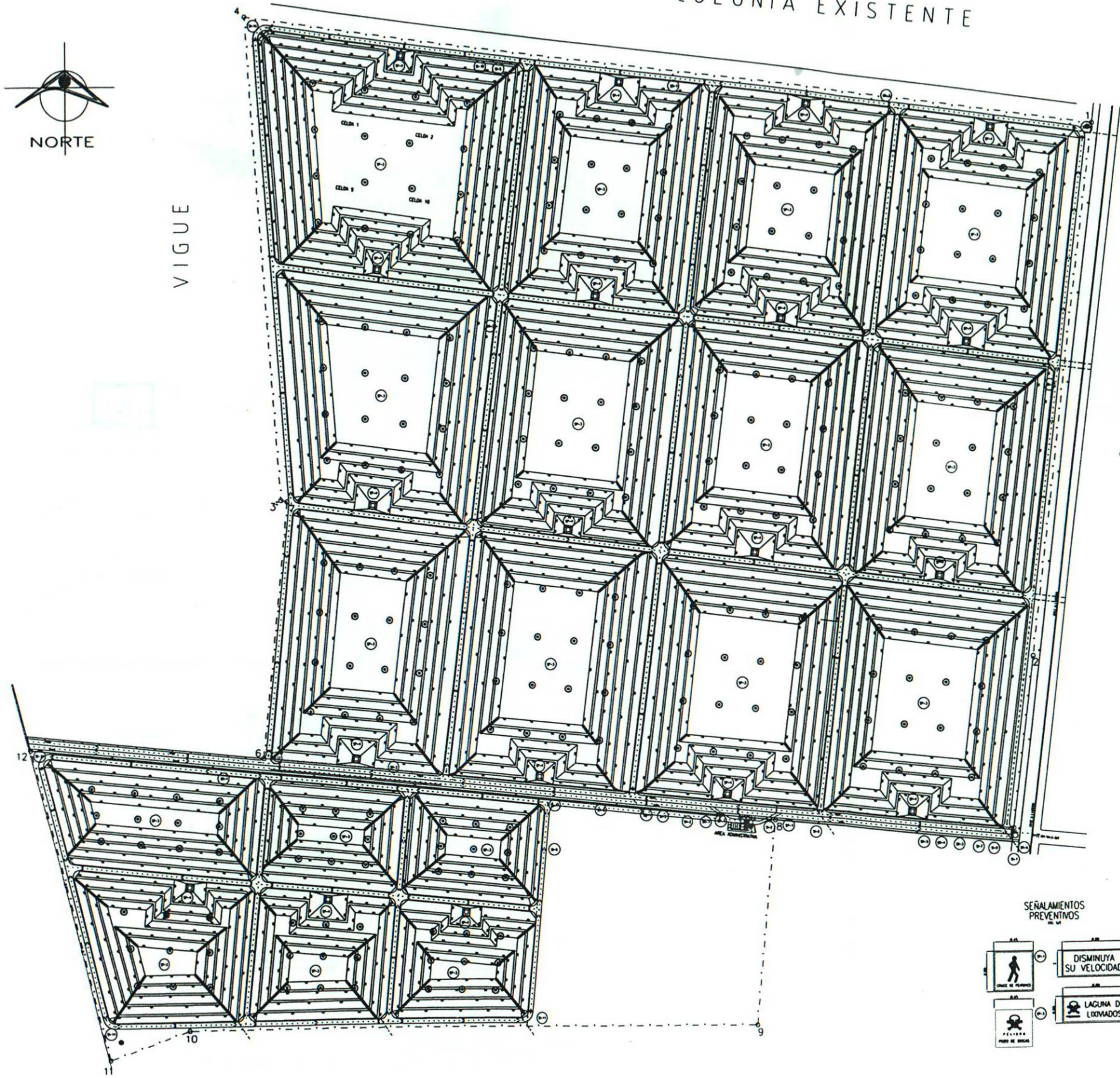
CERCA, CAMINOS Y CANAL PERIMETRAL
(PLANTA)

FECHA	FEBRERO / 2005	ADITIVOS	METROS	PROYECTO
ESCALA	1 : 3,000			
CLAVE DE PLANO				16

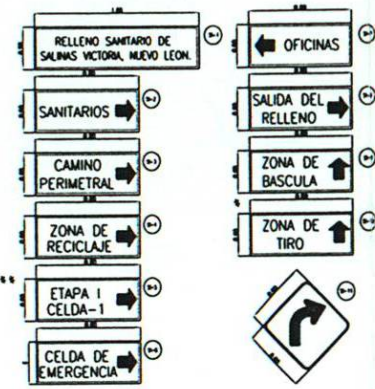


VIGUE

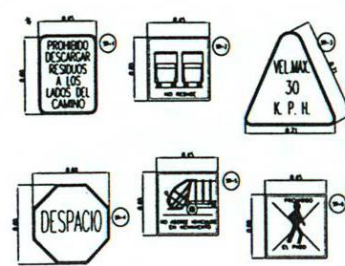
COLONIA EXISTENTE



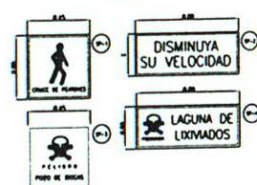
SEÑALAMIENTOS INFORMATIVOS



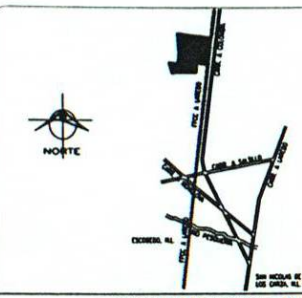
SEÑALAMIENTOS RESTRICTIVOS



SEÑALAMIENTOS PREVENTIVOS



SEÑALAMIENTOS DE HIGIENE



CROQUIS DE LOCALIZACION

SIMBOLOGIA



NOTAS

- 1.- LA FABRICACION DE LAS SEÑALES SON CON LAMINA No. 14, CON TUBO DE 50.4 mm. (2"). CED. 40 GALVANIZADO, PINTURA DE ESMALTE DE UN COLOR (DOS MANOS POR DOS CARAS), HERRAJES Y ACCESORIOS.
 - 2.- TODOS LOS SEÑALAMIENTOS SE APLICAN CON REFLEJANTE Y CON POSTE.
 - 3.- EL NUMERO, UBICACION Y TIPO DE SEÑALAMIENTOS ESTARA SUJETO A LA CONSIDERACION DE LA RESIDENCIA.
- *ESTAS SEÑALES SE MOVERAN CONFORME AL AVANCE POR CADA ETAPA.
- **DE ACUERDO A LA ETAPA Y CELDA QUE SE ESTE TRABAJANDO.

PROYECTO: DISEÑO DE RELLENO SANITARIO PRODESA

UBICACION: SALINAS VICTORIA, NUEVO LEON.

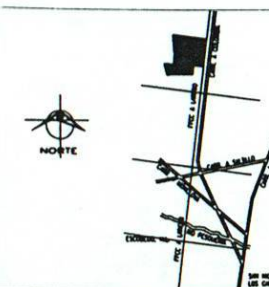
PLANO: SEÑALAMIENTOS (PLANTA)

FECHA: FEBRERO / 2005

ESCALA: 1 : 3,000

CLASE DE PLANO: 17

SIMEPRODE



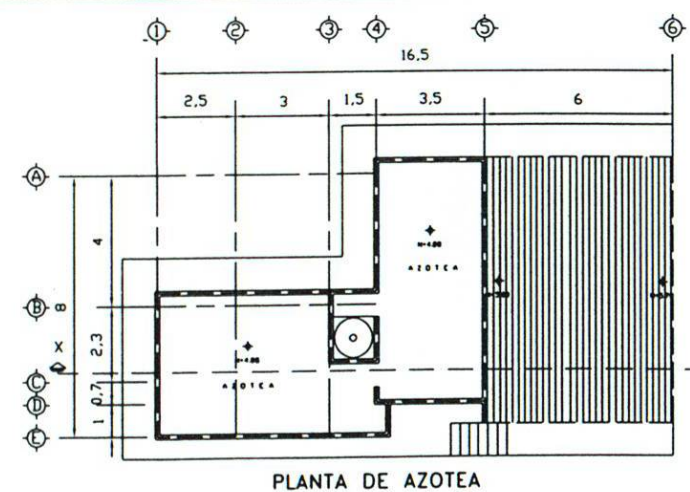
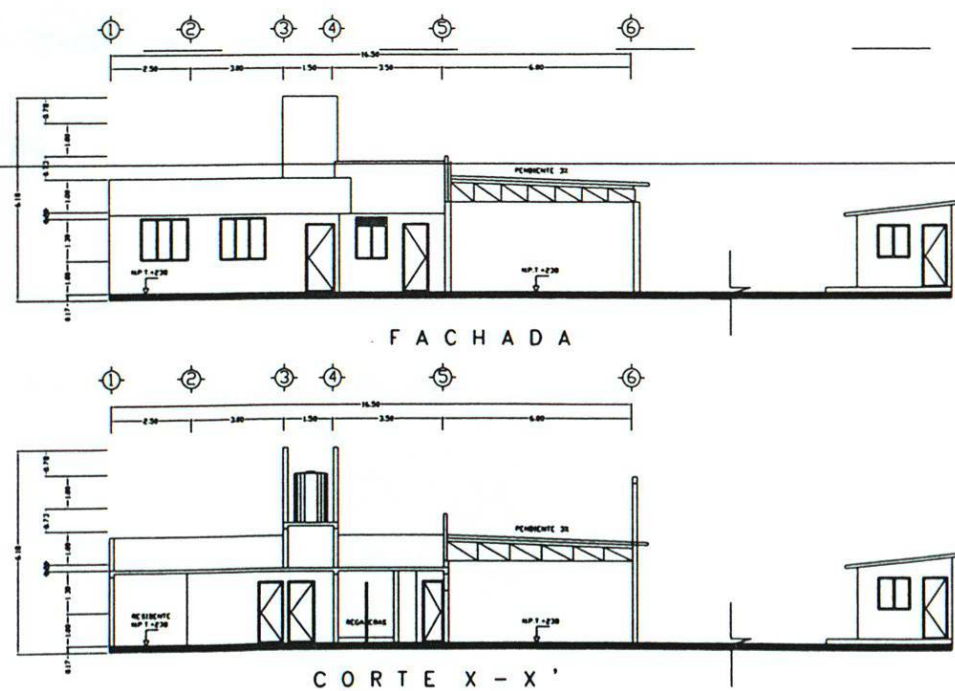
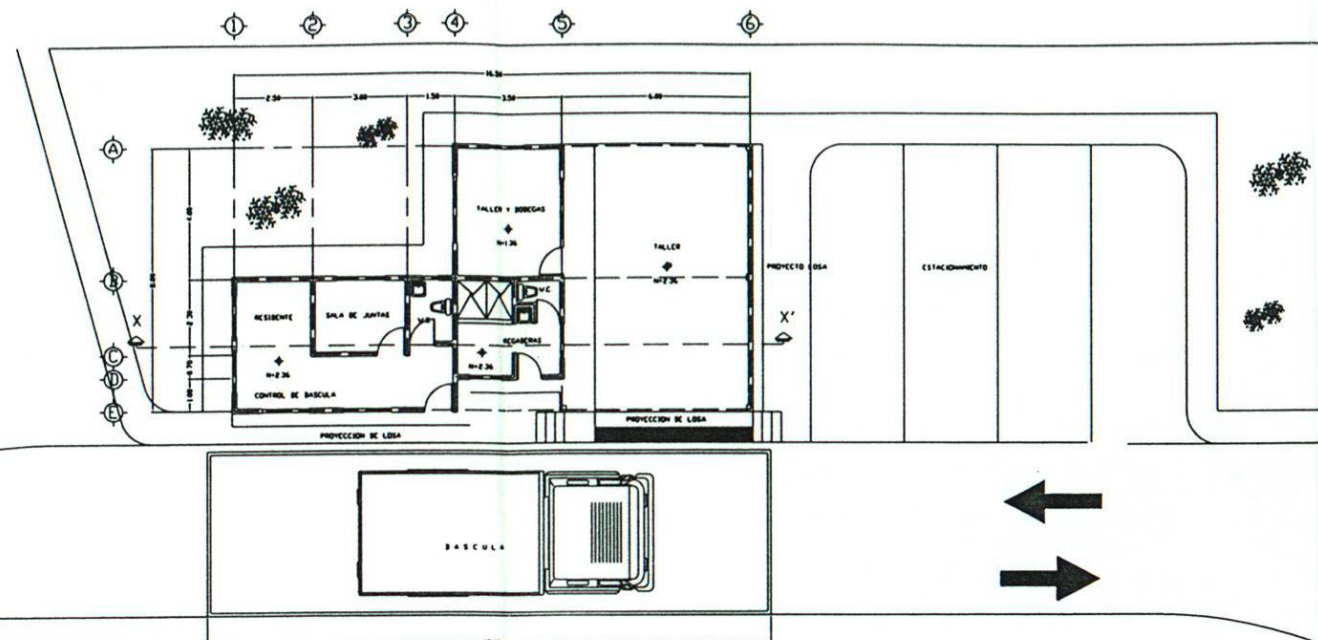
CROQUIS DE LOCALIZACION

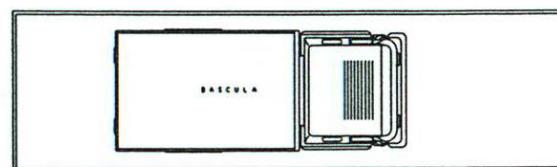
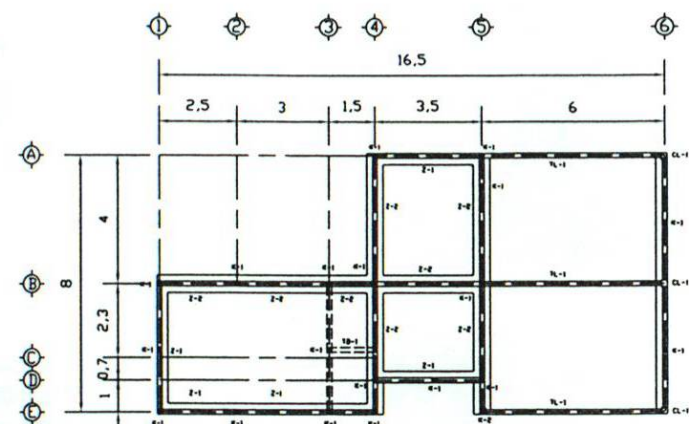
SIMBOLOGIA

- MURO DE CARGA
- TRABE
- CERRAMIENTO
- ARMADURA
- MONTENES
- COLUMNA
- CASTILLO
- CERCA PERIMETRAL

NOTAS

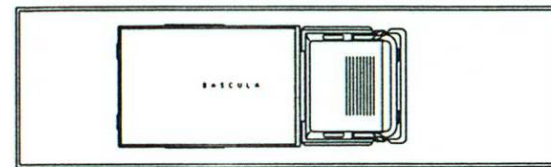
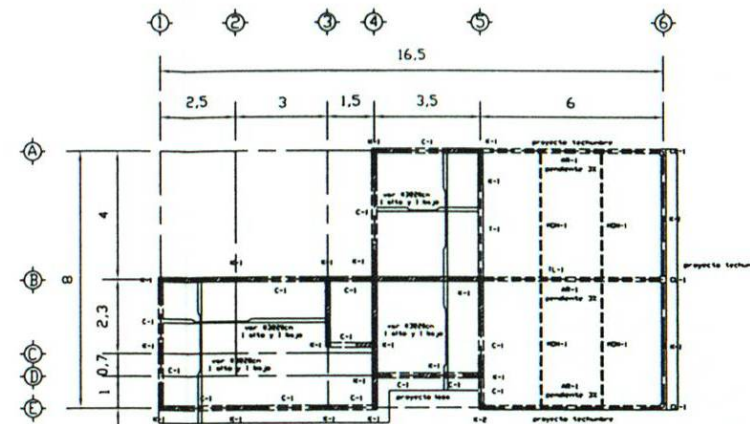
PROYECTO	DISEÑO DE RELLENO SANITARIO PRODESA		
UBICACION	SALINAS VICTORIA, NUEVO LEON.		
PLANO	OFICINAS ADMINISTRATIVAS, CONTROL DE PESAJE Y CASETA DE VIGILANCIA (PLANTA ARQUITECTONICA)		
FECHA	FEBRERO / 2005	ACOTACIONES	METROS
ESCALA GRAFICA	1 : 100		
CLAVE DE PLANO	18		





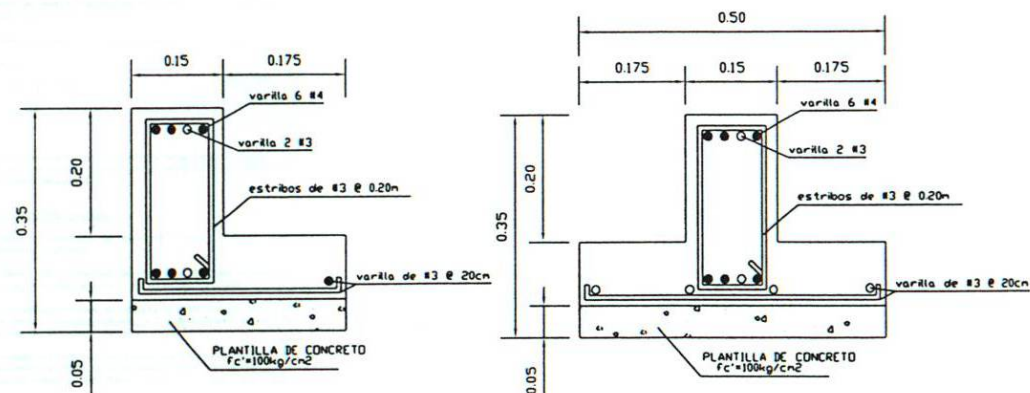
PLANTA DE CIMENTACION

ESC: 1:100

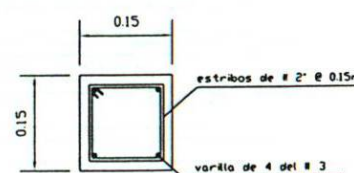


PLANTA LOSA AZOTEA

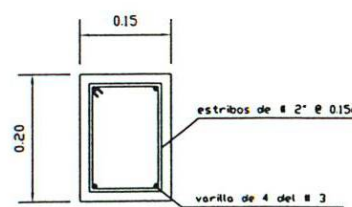
ESC: 1:100



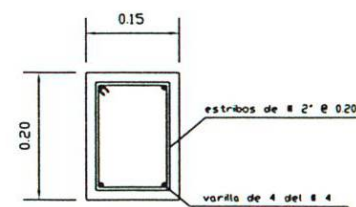
Z - 1
S/ESC



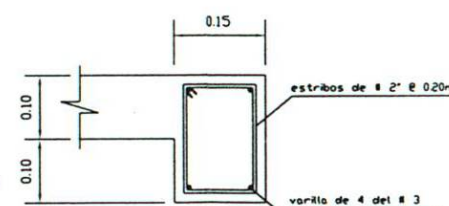
K - 1
S/ESC



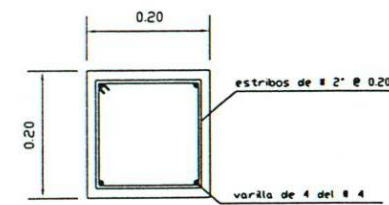
K - 2
S/ESC



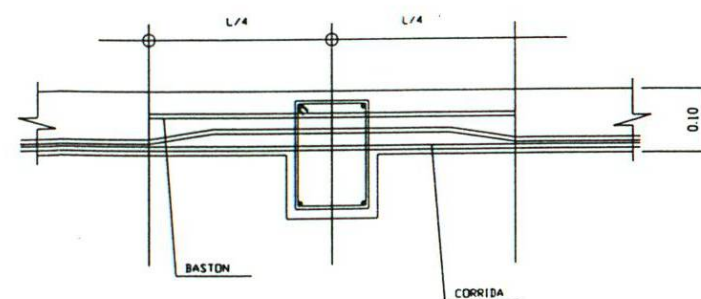
T D - 1
S/ESC
T - 1
S/ESC



C - 1
S/ESC



C L - 1
S/ESC



DETALLE (ARMADO DE LOSA)
S/ESC



CROQUIS DE LOCALIZACION

SIMBOLOGIA

	MURO DE CARGA
	TRABE
	CERRAMIENTO
	ARMADURA
	MONTENES
	COLUMNA
	CASTILLO

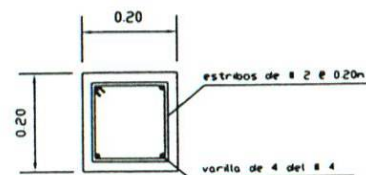
NOTAS

PROYECTO: DISEÑO DE RELLENO SANITARIO PRO DESA

UBICACION: SALINAS VICTORIA, NUEVO LEON.

CLIENTE: OFICINAS ADMINISTRATIVAS, CONTROL DE PESAJE Y CASETA DE VIGILANCIA (ESTRUCTURAL-1)

FECHA: FEBRERO / 2005
Escala: 1:3,000
METROS
PROYECTO: 19



T - 1
S/ESC

NOTAS DE ARMADOS Y ANCLAJES

1.- Todos los varillos se ajustaron de acuerdo a los especificados en la siguiente tabla.

2.- Tabla de Traspases, Anclajes, Radio de dobles y Recubrimiento.

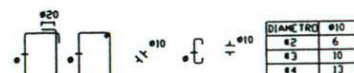
CAL	Ø	TRASPASE	SIMBOLO	EXTENSIÓN	RADIO	RECUBRIMIENTO
1	1/4"	25	1/4"	1/4"	1/4"	1/4"
2	3/8"	48	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"
3	1/2"	79	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"
4	5/8"	110	5/8"	5/8"	5/8"	5/8"
5	3/4"	141	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"
6	7/8"	172	7/8"	7/8"	7/8"	7/8"
7	1"	203	1"	1"	1"	1"

3.- Las longitudes mínimas de traspase o anclaje, están dadas en la tabla anterior.

4.- No deberá traspasarse ni soldarse más del 50% de refuerzo corrido en una misma sección, salvo aprobación de la dirección de obra aumentando longitudes de refuerzo adicional.

5.- Salvo indicaciones contrarias, toda la varilla deberá estar anclada en sus extremos en escuadra, la longitud de anclaje "Lc".

6.- Todos los estribos se ajustaron a los siguientes figuras.



7.- La separación de estribos se empezará a contar a partir del punto de apoyo, colocando el primero a la mitad de la separación especificada.

NOTAS DE CIMENTACIÓN

1.- Toda cimentación se desplazará sobre terreno sano libre de materia orgánica.

2.- Todos los elementos llevarán una planilla de concreto pobre de f'c=100 kg/cm², de 5cm. de espesor.

3.- La altura mínima de desplante será la que se indique en el detalle correspondiente, y podrá cambiarse solo a juicio de la dirección de obra.

4.- Todos los rellenos se harán con material granular, compactado al 85% de la prueba proctor estándar en capas no mayores de 25cm.

5.- Se considera al terreno una capacidad de carga de 5ton.

NOTAS DE MUROS

1.- Los muros serán de labique rojo recocido (7x14x28) y que cumpla con la especificada, en la referente, a piezas macizas, con las siguientes propiedades: f'm=60kg/cm², resistencia reducida a compresión de las piezas, f'm=15kg/cm², resistencia reducida a compresión de una pila de esbeltas 4:1 de tres lotes distintos de la misma planta de producción y que deberán ensayarse antes de iniciar la obra.

2.- El mortero será de tipo 1 de f'm=125kg/cm², resistencia reducida a la compresión, deberá comprarse por medio de ensayos de acuerdo a las normas D.G.M. C-6, las proporciones recomendadas son:
a) cemento, 3 arena.
b) En proporciónamiento del mortero deberán asegurarse sistemáticamente por la dirección de la obra.

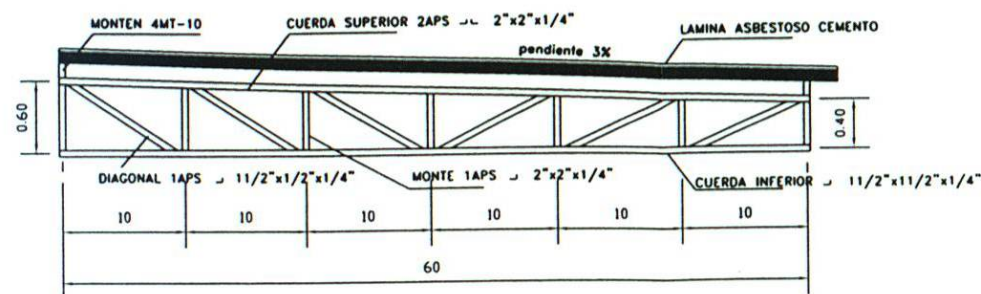
3.- Los labiques deberán estar secos y con una edad mayor de 30 días de su fabricación para evitar la contracción.

4.- El desplante de un muro no será mayor de 0.004 veces su altura, ni 1.5cm.

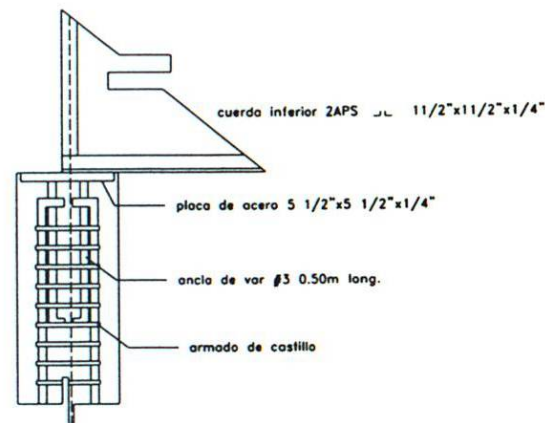
5.- La altura mínima de desplante será la que se indique en el detalle correspondiente, y podrá cambiarse solo a juicio de la dirección de obra.

6.- Todos los rellenos se harán con material granular, compactado al 85% de la prueba proctor estándar en capas no mayores de 25cm.

7.- Se considera al terreno una capacidad de carga de 5ton.



A R - 1
S/ESC.



DETALLE P/MONTAR ESTRUCTURA
S/ESC.

NOTAS DE MONTAJE DE ESTRUCTURA METÁLICA

1.- El montaje deberá efectuarse con el equipo apropiado y que ofrezca la mayor seguridad posible.

2.- El trasporte y montaje deberá hacerse con precaución para no generar esfuerzos parásitos permanentes en las piezas ocasionando por el empleo inadecuado de grúas, molotones, formillos y soldaduras en las juntas.

3.- No deberá colocarse en forma definitiva ninguna pieza en tanto no haya sido verificada sus posiciones, nivelada, plomada y alineada. La estructura no está diseñada para soportar cargas exteriores como (Garruchas para levantar motores de ningún tipo). Una vez colocados en forma definitiva la estructura se procederá a aplicar la pintura anticorrosiva definitiva.

4.- Además de todas las especificaciones anteriores deberá cumplirse con las especificaciones generales para la fabricación y montaje para las estructuras de este tipo.

ESPECIFICACIONES PARA ESTRUCTURA METÁLICA

1.- Todas las acotaciones y niveles se deberán verificar con planos y en obra. En caso de discrepancia, deberá de consultarse con el residente de obra.

2.- Especificaciones y longitudes de perfiles en centímetros.

3.- Colibre la soldadura en centímetros.

4.- Acero en perfiles estructurales y placas: f'y=2530kg/m². (Límite de fluencia).

5.- Acero en perfiles tubulares; f'y=3200kg/cm² (Límite de fluencia mínimo).

6.- Acero en anclas (A-36) f'y=2530kg/cm².

Acero en anclas de varilla, f'y=2530kg/cm².

7.- El roscado, donde se requiera, será el tipo US. Estándar.

8.- Los tornillos donde se indique será de acero A-325.

9.- Los empalmes y uniones para continuidad de placas se hará según se indica en los detalles respectivos.

10.- No podrá cambiarse o modificarse, parcial ni totalmente ningún detalle o especificación contenida en los planos sin la autorización por escrito del residente de obra.

11.- El constructor está obligado a conocer, respetar, y poner en práctica los lineamientos constructivos.

NOTAS DE COLUMNAS Y CASTILLOS

1.- JC= Junta colocada entre columnas y trabe.

2.- Todas las JC, quedarán limpias, martelinadas y humedecidas durante 24 horas, previas al colocado de la trabe.

3.- Deberá colocarse estribos 5cm. arriba y abajo de cada JC.

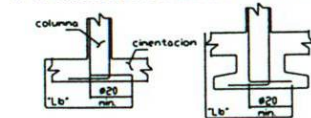
4.- El nivel máximo de colocado será techo bajo de losa o trabe, no se deberá colocar en dos partes del cuerpo de la columna.

5.- Para varillos en paquete los traspases entre barras se desfasarán en una longitud igual a 30 diámetros (de la arilla mayor).

6.- En la zona de unión viga-columna, los estribos de esto posan corridos en el peralte de la sola a 5/2.

7.- La tolerancia de desplante de una columna será de 1cm. mas 2% de la dimensión transversal de la columna paralela a la desviación.

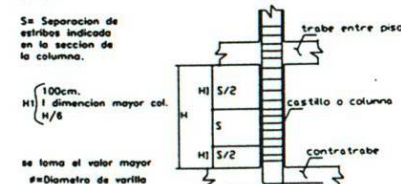
8.- El desplante se hará de acuerdo al detalle 1 o detalle 2:



DETALLE 1

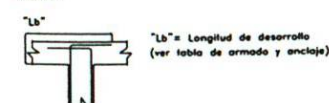
DETALLE 2

9.- La separación de los estribos se hará de la siguiente forma:

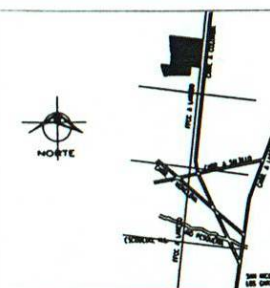


Se toma el valor mayor
Ø=Diámetro de varilla

10.- El remate de la columna se hará de la siguiente manera:



"Lb"= Longitud de desarrollo
(ver tabla de armado y anclaje)



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

SIMBOLOGIA



NOTAS

DISEÑO DE RELLENO SANITARIO
PRODESA

SALINAS VICTORIA, NUEVO LEÓN.

OFICINAS ADMINISTRATIVAS, CONTROL DE PESAJE
Y CASETA DE VIGILANCIA (ESTRUCTURAL-2)

FECHA	ACOTACIONES	PROYECTO
FEBRERO / 2005	METROS	
ESCALA: 1:3000		
CLAVE DE PLANO	Nº DE PLANO	20

